[redacted]

Bem

1. Jedes Mitglied,
Hause nimmt, ist für dasse

2. Kein Buch darf le
ist daher jedes Mitg
, das nach Hause n
altenem Zustande in da

Bibliothek-Ordnung.

I. Jedes Vereinsmitglied, welches ein Buch entlehnt, ist verpflichtet, dasselbe längstens nach Verlauf von 14 Tagen zurückzustellen, oder bei größeren Werken um Verlängerungsfrist nachzusuchen.

II. Wer dies unterläßt, wird durch den Vereinsdiener zur Rückgabe gemahnt und hat hiefür eine Mahngebühr von 10 ₰. zu entrichten.

III. Jedes Vereinsmitglied, welches Bücher in ruinosem oder beschmutztem Zustande zurückstellt, hat den verursachten Schaden zu tragen und ist daher zum Ersatz des Ankaufspreises des Buches, oder der Kosten des Einbandes anzuhalten. Ein Fortleihen der Bücher an dritte Personen ist unstatthaft.

IV. Lehrlingen und Dienstboten dürfen nur gegen schriftlichen Vorweis des Lehrherrn, bezw. der Herrschaft, Bücher ausgehändigt werden.

Grundzüge

der

Mechanik und Maschinenlehre,

für

Lehrer und Lernende, für Schule und Haus.

Von

Karl Holtzmann,

Großherzogl. Badischem Hüttenverwalter, ehemaligem Professor der Mathematik und Physik.

Mit 95 Abbildungen in Holzschnitt.

Stuttgart.

Verlag von J. B. Müller.

1850.

Vorwort.

Die vorliegenden „Grundzüge der Mechanik" sind ein unveränderter Abdruck meiner vor zwei Jahren erschienenen „volksfaßlichen Mechanik und Maschinenlehre", der trotz der ungünstigen Zeitverhältnisse nöthig geworden ist. — Einem größeren Leserkreise die wichtigsten Sätze der Mechanik zugänglich zu machen, und ihm zu zeigen, welche Fragen ein Mechaniker zu beantworten hat, und auf welchem Wege er dieses thun kann, das war die Idee, welche mich bei der Bearbeitung des vorliegenden Werkchens leitete. Mechaniker zu bilden, war also nicht mein Zweck; doch glaube ich, daß auch Dem, der tiefer in die Lehren der Mechanik oder in die Maschinenlehre eindringen will, mein Büchlein eine erwünschte Vorbereitung zu diesem Studium gewähren kann. — Soviel mir bekannt, wurde und wird es in seiner ersten Auflage (als ein Theil der „Praktischen Lehrbücher") schon vielfach und mit Vortheil dem elementaren Unterricht in der Mechanik in Gewerbe- und anderen Schulen zu Grunde gelegt. Möge es auch in dieser Ausgabe aufs Neue viele Freunde finden und demselben Zwecke dienen!

Holtzmann.

Inhalts-Uebersicht.

Erstes Buch. Die Gesetze der Bewegung.

§. 1. Gleichförmige Bewegung. Arbeit hierbei.

§. 2. Ungleichförmige Bewegung.

§. 3. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte.

§. 4. Bewegung eines Körpers von bestimmter Form.

Zweites Buch. Die einfachen Maschinen.

§. 1. Vom Hebel.

§. 2. Von der Rolle.

§. 3. Vom Rad an der Welle.

§. 4. Von der schiefen Ebene.

§. 5. Vom Keile.

§. 6. Von der Schraube.

Drittes Buch. Hindernisse der Bewegung.

§. 1. Von der Reibung.

§. 2. Vom Widerstande der Flüssigkeiten gegen Bewegung in ihnen.

§. 3. Von der Unbiegsamkeit der Seile.

Viertes Buch. Von den bewegenden Kräften und den Kraftmaschinen.

§. 1. Von der Wasserkraft.

§. 2. Von der Kraft der Luft.

§. 3. Von der Dampfkraft.

§. 4. Die Kraft der Thiere und des Menschen.

Fünftes Buch. Mittheilung der Bewegung.

§. 1. Von den Bewegungsmittheilern.

§. 2. Von den Regulatoren der Bewegung.

Sechstes Buch. Die Festigkeit und Standfähigkeit.

§. 1. Von der Festigkeit der Materialien.

§. 2. Von der Standfähigkeit oder Stabilität.

Einleitung.

1. Wohin wir blicken, sehen wir Leben und Bewegung. Die Sonne beginnt majestätisch Morgens ihren Lauf und bringt uns das Licht, dessen wir zum Leben und zur Erkenntniß bedürfen; der Mond, die Sterne bewegen sich; auf der Erde sehen wir alles Lebende in unaufhörlicher Bewegung, aber auch das Todte bewegt sich; dort rollt der Kies am Bergabhang herab, hier fließt das Wasser des Baches ruhig seinen Lauf, während die Luft durch ihre Strömung der Stadt Erquickung nach dem heißen Sommertage bringt.

Wenn uns so die Natur auffordert, die Bewegung selbst kennen zu lernen, so ist es nicht minder die Kunst und das Gewerbswesen, was uns zu dem Studium der Lehre von der Bewegung, der **Mechanik** hindrängt. Dort wird in der klappernden Mühle das Korn unter den Steinen zu Mehl gerieben, hier erhalten unter dem gewaltigen Streiche des Hammers oder unter dem Drucke der Walzen die schweißenden Eisenstücke Zusammenhalt; dort wird auf Maschinen der Flachs oder die Baumwolle gesponnen und zu Zeugen gewoben, während hier die Leinwand unter Stampfen zu Papierzeug verarbeitet wird; seht das Schiff, wie es stolz, mit schwellenden Segeln uns die Erzeugnisse des fernen Landes zuführt; seht die Locomotive, die schnell dahin braust und die Entfernung der Erdenbewohner aufhebt; blickt auch auf die Kugel, die den Tod in das feindliche Lager bringt, — überall ist Bewegung das Mittel den Zweck zu erreichen, überall muß Bewegung diesem Zwecke gemäß hervorgebracht werden. Wie dieß geschehen kann, wollen wir in dem Folgenden deutlich zu machen versuchen.

Erstes Buch.

Die Gesetze der Bewegung im Allgemeinen.

2. Jede Ortsänderung eines Körpers nennt man Bewegung. Zu dieser Bewegung ist Zeit erforderlich, kein Körper kann zu gleicher Zeit an zwei Orten seyn.

3. Die einfachste Bewegung, welche wir uns denken können, ist die, bei welcher der Körper in gleichen Zeiten immer gleich weit kommt. Eine solche Bewegung nennt man eine gleichförmige. Kommt z. B. ein Körper in 1 Secunde 10 Fuß weit, und in jeder folgenden Secunde wieder 10 Fuß weit, und in jeder halben Secunde 5 Fuß weit, in jeder Zehntels-Secunde 1 Fuß weit u. s. f., so bewegt sich dieser Körper gleichförmig. Die Industrie wünscht zu vielen Zwecken gleichförmige Bewegungen hervorzubringen; allein völlig gleichförmig hat sie auch noch nicht eine einzige hervorgebracht. Am weitesten geht die Forderung der gleichförmigen Bewegung bei den Uhren; daß aber auch die besten Uhren nicht immer gleich gehen, ist bekannt. Auch in der Natur ist uns nur ein einziges Beispiel einer vollkommen gleichförmigen Bewegung bekannt; es ist dieß die Umdrehung der Erde und der andern Planeten um ihre Axen; diese geht immer in gleichen Zeiten um gleich viel vorwärts.

Wenn nun schon diese gleichförmige Bewegung nur einmal in der That vorkommt, so hat doch ihre Untersuchung den größten Werth, einmal weil man sich ihr sehr oft so weit möglich zu nähern sucht, dann weil die Betrachtung aller andern Bewegung immer auf die Betrachtung der gleichförmigen Bewegung zurückgeführt wird.

4. Eine gleichförmige Bewegung ist vollständig bekannt, wenn man die Bahn kennt, in welcher der Körper sich bewegt, und wenn man weiß, wie weit derselbe in einer bestimmten Zeit kommt, wie

groß seine Geschwindigkeit ist. Von einem Puncte auf der Erdoberfläche, z. B. Stuttgart, weiß man, daß er in 24 Stunden seinen Parallelkreis durchläuft; da die Bewegung eine gleichförmige ist, so weiß man damit auch, daß er in 1 Stunde den 24sten Theil, in einer Minute den 60 × 24 = 1440sten Theil jenes Parallelkreises durchlauft. Man braucht daher, um eine gleichförmige Bewegung zu bestimmen, nur die Geschwindigkeit des Körpers anzugeben, nämlich den Weg, den er in einer bestimmten Zeit durchlauft; für diese Zeit nimmt man gewöhnlich eine Secunde, zuweilen auch eine Stunde an, wie dieß bei den Geschwindigkeiten auf den Eisenbahnen der Fall ist.

Die Geschwindigkeit bei gleichförmiger Bewegung ist der in einer Secunde durchlaufene Weg.

Wenn ich sage, ich gehe mit 5 Fuß Geschwindigkeit, so will dieß hiernach anzeigen, daß ich in einer Secunde 5 Fuß weit komme, also in einer Minute 60 × 5 = 300 Fuß und in 1 Stunde 60 × 300 oder 18000 Fuß, d. i. etwas weiter als eine Wegstunde (zu 15000 Fuß).

Auf der Eisenbahn von Mannheim nach Heidelberg fährt man in einer halben Stunde, die Entfernung ist 64000 Fuß; 30 Minuten sind 60 × 30 = 1800 Secunden; in einer Secunde kommt man also den 1800sten Theil von 64000 Fuß, d. i. $35\frac{5}{9}$ Fuß, und $35\frac{5}{9}$ Fuß ist die Geschwindigkeit dieser Fahrt.

Hierbei muß ich noch auf folgendes aufmerksam machen. Das Zeitmaaß, die Secunde, ist bei allen civilisirten Völkern gleich, das Längenmaaß aber nicht, weßhalb man bei dem Gebrauche darauf sehen muß, in welchem Längenmaaße die Geschwindigkeit angegeben ist. Wenn z. B. der Hesse, aus dem Großherzogthume, angibt, die Geschwindigkeit ist 4', so wird der Badner sagen, diese Geschwindigkeit ist $3\frac{1}{3}$, der Württemberger $3\frac{1}{2}$ Fuß, weil 4 hessische Fuße so viel sind als $3\frac{1}{3}$ badische oder $3\frac{1}{2}$ württembergische.

5. Wirft man eine Kugel auf einem rauhen Wege hin, so wird sie eine kurze Strecke fortrollen, dann aber stille halten und liegen

bleiben. Wird die Bahn ebener, glätter, wirft man z. B. die Kugel auf einer guten Kegelbahn hin, so wird sie viel weiter rollen, als im ersten Falle, und um so weiter, je glätter die Bahn ist. Auf einem rauhen steinigen Wege bleibt ein Wagen von selbst stehen, sobald die Pferde aufhören anzuziehen; auf schöner Straße müssen diese aufhalten, um den Wagen zum Stehen zu bringen; auf der Eisenbahn müssen die Locomotive und die Wagen stark gebremst werden, um nicht weit über den Haltplatz hinauszuschießen. Diese und ähnliche Erfahrungen zeigen, daß dem bewegten Körper ein Bestreben, seine Bewegung fortzusetzen, zugeschrieben werden muß, und daß das Aufhören einer Bewegung, scheinbar von selbst, in den äußeren Hindernissen der Bewegung, bei den beiden angeführten Beispielen in der Unebenheit der Bahn seinen Grund hat, und diese Erfahrungen führen zu dem äußerst wichtigen Satze: Ist ein Körper in Bewegung, so wird er fortfahren sich gleichförmig fortzubewegen, bis eine äußere Ursache seine Bewegung ändert; ist er aber in Ruhe, so wird er ebenso in Ruhe beharren, bis eine äußere Ursache ihn bewegt. Dieses zuerst von dem berühmten Galiläi im Jahr 1638 aufgestellte wichtige Gesetz wird gewöhnlich das Trägheits- oder Beharrungsgesetz genannt. Es bildet die Grundlage der ganzen Lehre von der Bewegung, der Mechanik, und kann auch so gefaßt werden: ein Körper kann seinen Zustand der Ruhe oder der Bewegung nicht selbst ändern.

Jedermann sind die Stöße bekannt, welche man beim kurzen Anhalten nach einer Fahrt empfindet. Der Körper des Fahrenden hat die Geschwindigkeit des Fahrzeugs angenommen, und hat das Bestreben in dieser Bewegung zu beharren. Das Fahrzeug unter ihm hält; er fährt fort sich in der bisherigen Richtung zu bewegen, und fällt also in dieser Richtung vor. Beim Abfahren ist er in Ruhe, das Fahrzeug geht unter ihm fort, er fällt also zurück.

Aus den angegebenen Erfahrungen geht das Beharrungsgesetz nur als wahrscheinlich hervor. Das Eintreffen der vielen Folgerun-

gen, welche man daraus gezogen hat, ist jedoch eine starke Stütze desselben, und die Gleichförmigkeit der Umdrehung der Erde um ihre Achse, soweit die Beobachtungen zurückreichen, ist ein strenger Beweis desselben. Auf diese Umdrehung der Erde wirken äußere Kräfte nicht ein, sie findet keine Unebenheit der Bahn, und getreu dem ausgesprochenen Beharrungsgesetze geschieht der Umlauf der Erde seit den ältesten Zeiten immer in demselben Zeitraume.

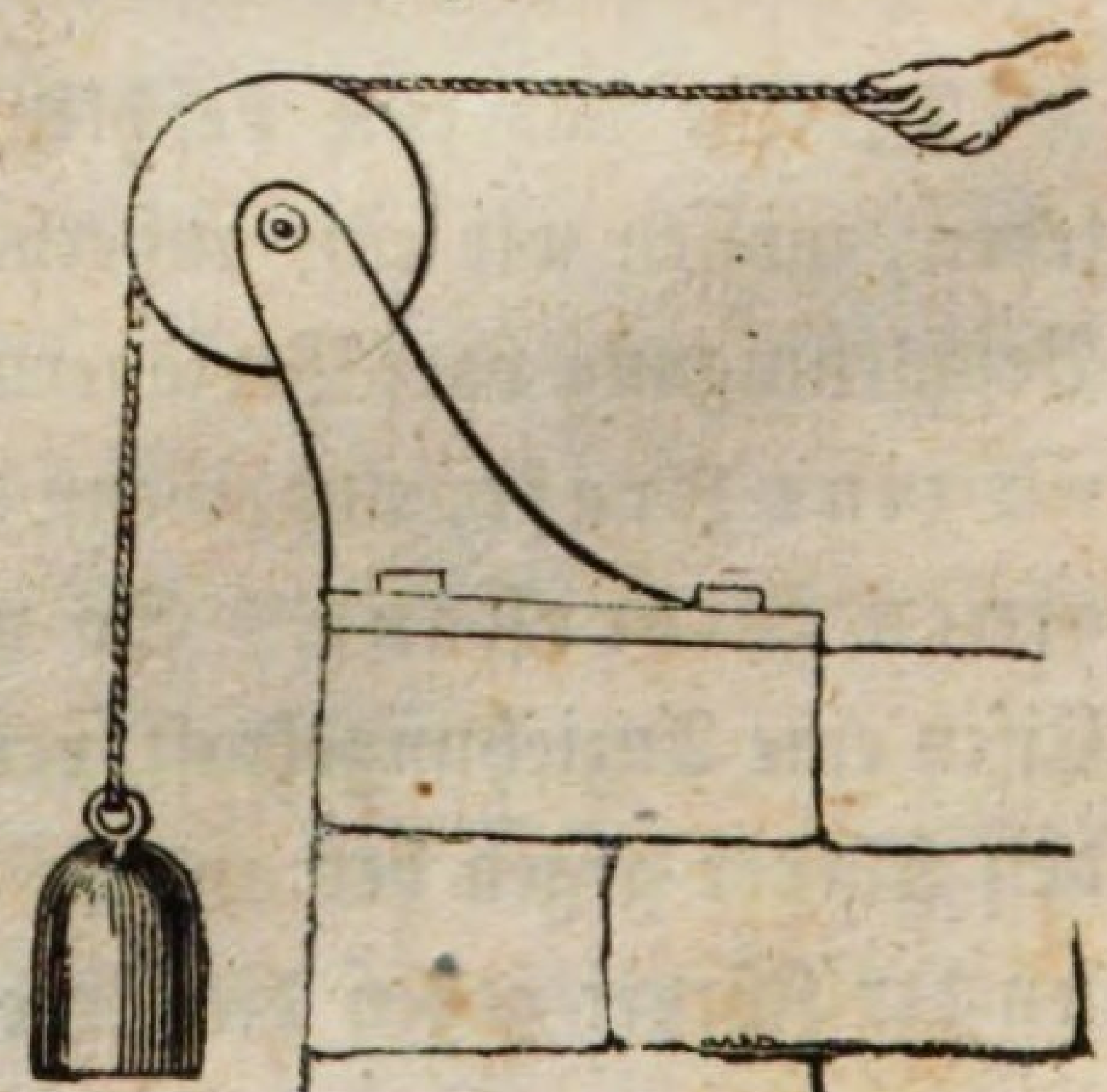
6. Kann ein Körper sich selbst nicht bewegen, so können gleichwohl mehrere Körper sich gegenseitig bewegen, oder aber der eine die Bewegung des andern hemmen; so sehen wir das Eisen dem Magnete folgen, so ist uns das Fallen der Körper gegen die Erde bekannt, bekannt daß diese Erscheinung durch eine Anziehung zwischen der Erde und dem fallenden Körper bedingt ist. Durch solche äußere Einwirkung auf einen Körper wird nun in der Regel eine Aenderung in dem Zustande der Ruhe oder der Bewegung hervorgebracht. Entweder fängt der Körper an sich zu bewegen, erst langsam, dann schneller, und ist dann in beschleunigter Bewegung; oder die Bewegung des Körpers wird durch äußeren Widerstand nach und nach langsamer, eine verzögerte Bewegung. Ein Beispiel der beschleunigten Bewegung gibt jeder Körper, der in Bewegung gesetzt wird: ein fallender Körper, ein Wagen, der sich zu bewegen anfängt, ein Zug auf einer Eisenbahn, bis derselbe in vollem Laufe ist; halten diese Körper wieder an, so geschieht dieß mit vorangehender verzögerter Bewegung.

7. Wo wir eine beschleunigte oder eine verzögerte Bewegung sehen, müssen wir eine außerhalb des Körpers liegende Ursache dieser Beschleunigung oder Verzögerung annehmen, und diese Ursache nennen wir eine Kraft, und, wenn Verzögerung ihre Folge ist, auch wohl einen Widerstand. So wirkt zwischen dem Magnete und dem Eisen eine Anziehungskraft, vermöge welcher der bewegliche dieser beiden Körper gegen den andern sich bewegt; so schreiben wir das Fallen der Körper gegen die Erde der Schwerkraft zu; das allmählige

Stillhalten einer rollenden Kugel wird durch eine äußere Ursache, die Reibung an dem Boden und den Widerstand der Luft, hervorgerufen.

8. Ist ein Körper in Ruhe oder in gleichförmiger Bewegung, so wirkt auf ihn entweder keine Kraft ein, oder mehrere zugleich, welche sich in ihren Wirkungen gegenseitig aufheben; von diesen Kräften sagt man dann, sie seyen im Gleichgewichte. Wird ein Wagen auf horizontaler Straße fortgezogen, so ist, sobald eine gleichförmige Bewegung eingetreten ist, die ziehende Kraft, die Kraft der Pferde z. B. mit den Widerständen, welche den sich selbst überlassenen Wagen sehr bald zum Stillstande bringen würden, also hauptsächlich mit der Reibung in den Naben und an der Straße, — im Gleichgewichte; im Anfange aber, wo eine Bewegung erst hervorgebracht werden muß, muß die Kraftanstrengung der Pferde eine größere seyn, da durch sie nicht nur diesen Widerständen das Gleichgewicht gehalten werden, sondern auch noch der Masse des Wagens und seiner Belastung Beschleunigung mitgetheilt werden soll. Könnte man einen Wagen und eine Bahn, noch viel vortrefflicher als die Eisenbahnen, bauen, bei welchen gar keine Widerstände der Bewegung vorkämen, und könnte man zugleich den Widerstand hinwegräumen, welchen die Luft jeder Bewegung in ihr entgegensetzt, so würde man nur anfänglich, bis man den Wagen in dem gewünschten Gange hätte, Kraft brauchen, dann würde derselbe ohne allen Kraftaufwand gleichförmig von selbst fortlaufen, bis es endlich am Orte der Bestimmung wieder eines Kraftaufwandes bedürfte, um dem Wagen seine Bewegung zu nehmen.

Fig. 1.



9. Zieht ein Mann horizontal fortgehend ein Gewicht z. B. 30 Pfd. in die Höhe, (Fig. 1), und geht er dabei in gleichförmiger Geschwindigkeit fort, so wird seine Kraftanstrengung diesem Gewichte gleich, also auch 30 Pfd. seyn. Geht er dabei z. B. 10 Fuß weit fort, so wird auch das Gewicht 10 Fuß hoch erhoben werden,

und die Wirkung der Kraft des Mannes, 30 Pfd., indem diese Kraft 10 Fuß weit fortbewegt wird, wird gleich sein mit der Erhebung von 30 Pfd. auf 10 Fuß Höhe. Dieß ist die Arbeit, welche der Mann geleistet hat.

Zieht ein Pferd einen Wagen fort, so wird man dem Pferde auf die Weise, wie in Fig. 1., den Wagen wegnehmen und dafür ein entsprechendes Gewicht anhängen können, und es wird, wenn das Gewicht richtig gewählt ist, die Anstrengung des Pferdes dieselbe seyn, ob es das Gewicht in die Höhe zieht, oder den Wagen fortbewegt. Es wird also auch dann, wenn ein Pferd einen Wagen fortzieht, diese Arbeit gleichbedeutend seyn mit der Erhebung eines Gewichtes auf eine bestimmte Höhe, und ebenso wird man überall einer vorhandenen Arbeit die Erhebung eines Gewichtes substituiren, also die Größe jener Arbeit dadurch angeben können, daß man sagt, welches Gewicht durch dieselbe Kraftäußerung erhoben werden kann, und welche Größe diese Erhebung erreicht.

10. Nehmen wir wieder den Mann des §. 9, welcher an einem Seile ein Gewicht von 30 Pfd. 10 Fuß hoch in die Höhe hebt. Bringen wir an dem abwärts hängenden Seile von Fuß zu Fuß Haken an, und stellen einen zweiten Mann neben das aufwärts gehende Gewicht; lassen wir diesen, sobald dieses Gewicht um 1 Fuß erhoben ist, es auf die Seite stellen, dagegen unten an den um 1 Fuß tiefern Haken ein gleiches Gewicht von 30 Pfd. einhängen; wenn dieses um 1 Fuß erhoben ist, dasselbe dort wieder abstellen und dafür unten ein neues Gewicht einhängen u. s. f. Geschieht dieß mit der gehörigen Sorgfalt, so wird der erste Mann, welcher an dem Seile zieht, immer 30 Pfd. zu erheben, also immer dieselbe Kraft aufzuwenden haben, aber er wird dießmal nicht 30 Pfd. auf 10 Fuß, sondern 10mal 30 Pfd. oder 300 Pfd. auf 1 Fuß erhoben haben. Eine Arbeit, welche gleichbedeutend ist mit der Erhebung von 30 Pfd. auf 10 Fuß, erfordert also denselben Kraftaufwand mit einer Arbeit, bestehend in der Erhebung von 300 Pfund auf einen Fuß.

Hätte man die 30 Pfund immer erst nach einer Erhebung auf

zwei Fuß abgenommen, so hätte man das bei einem Fortschreiten des Arbeiters durch 10 Fuß fünfmal wiederholen können, und bei demselben Kraftaufwand hätte man 5 × 30 oder 150 Pfund auf 2 Fuß erheben können, und ebenso 20 × 30 oder 600 Pfund auf 1/2 Fuß u. s. f.

Man sieht leicht, wie diese Betrachtung zu dem Satze führt: Kann man mit einem bestimmten Kraftaufwande eine Anzahl Pfunde auf die Höhe von einer gewissen Anzahl Fußen erheben, so kann man mit demselben Kraftaufwande bei geeigneter Vorrichtung jede Arbeit verrichten, für welche das erhobene Gewicht (die Zahl der Pfunde), multiplicirt mit der Höhe (der Zahl der Fuße), dieselbe Zahl gibt, wie bei der ersten Arbeit.

Zu einem Mahlgange, wie sie im südwestlichen Deutschland gebräuchlich sind, braucht man eine Kraft, welche vermögend ist ungefähr 3500 Pfunde in einer Secunde einen Fuß hoch zu erheben. Wollte man also das Wasserrad, das diesen Mahlgang bisher betrieben hatte, mit einer Pumpe in Verbindung setzen und seine Kraft ganz auf das Hinaufpumpen von Wasser verwenden, so könnte man z. B. in einer Secunde damit 350 Pfund oder 117 Maaß Wasser auf die Höhe von 10 Fuß bringen; es ist 350 × 10 = 3500 die oben angegebene Arbeit, welche das Rad zu leisten vermag.

Wollte man aber mit demselben Rade das Wasser 50 Fuß hoch heben, so könnte man in derselben Zeit nur den 50sten Theil von 3500 Pfd. oder 70 Pfd., gleich 23 Maaß, auf diese Höhe bringen; 70 × 50 ist gleich 3500.

Die Arbeit, welche man mit einem bestimmten Kraftaufwande verrichten kann, wird man daher ganz einfach durch die Zahl der Pfunde, welche man erheben kann, multiplicirt mit der Zahl der Fuße, auf welche man jene erheben kann, angeben; der erhaltenen Zahl setzt man dann gewöhnlich noch den Beisatz Fußpfund zur Erinnerung an ihre Entstehung bei. Kann also z. B. ein Pferd im horizontalen

Zuge ein Gewicht von 112 Pfd. in einer Secunde auf 4 Fuß Höhe erheben, so kann man die Arbeit dieses Pferdes in einer Secunde gleich $112 \times 4 = 448$ Fußpfunde angeben; dasselbe ist zugleich das Maaß des Kraftaufwandes.

11. Um bei der Angabe eines Kraftaufwandes oder einer Arbeit, die in einer bestimmten Zeit erfolgt sind, zu große Zahlen zu vermeiden und die Größen anschaulicher zu machen, bedient man sich für beide auch noch eines größern Maaßes, der sogenannten *Pferdskraft*.

Die am Ende der vorhergehenden Nummer angegebene Arbeit, 448 Fußpfund in der Secunde, ist die eines mittleren Pferdes im Schritt; bei der allgemeineren Einführung der Dampfmaschinen in England wurde meist der Betrieb durch Pferde gegen den Betrieb mit Dampf vertauscht, woher es kam, daß man dem Käufer der Dampfmaschine angab, diese Maschine ersetzt den Zug von 20 Pferden, sie hat 20 Pferdskräfte. Um aber ganz sicher zu gehen, hat der berühmte James *Watt* die Pferdskraft seiner Maschinen etwas grösser genommen als die Kraft eines wirklichen Pferdes, und diese Annahme ist später beibehalten worden.

Wir verstehen unter einer Pferdskraft die Kraft, welche in 1 Secunde 500 Fußpfund Arbeit liefert, d. h. welche in 1 Secunde vermögend ist, 500 Pfd. einen Fuß hoch zu erheben.

Sagt man also von einer Dampfmaschine, sie habe 20 Pferdskräfte, so heißt dieß, man kann mit ihr jede Arbeit verrichten, welche gleichbedeutend ist mit der Erhebung von $20 \times 500 = 10000$ Pfd. auf einen Fuß in einer Secunde.

Zu dem Mahlgange (§. 10), der einen Kraftaufwand von 3500 Fußpfund in einer Secunde bedarf, gehörten daher 7 Pferdskräfte.

Soll ein Hammer von 500 Pfd. Gewicht in der Minute 120 Schläge thun, und dabei jedesmal 2 Fuß hoch gehoben werden, so ist die Größe der Arbeit in einer Secunde, in welcher 2 Schläge geschehen, $500 \times 2 \times 2 = 2000$ Fußpfund, das ist 4×500 also 4 Pferdekräfte, und zur Bewegung dieses Hammers würde man also

nur 4 Pferdskräfte brauchen, wenn nicht mancherlei Nebenlasten noch eine Vergrößerung dieser Kraft erforderten.

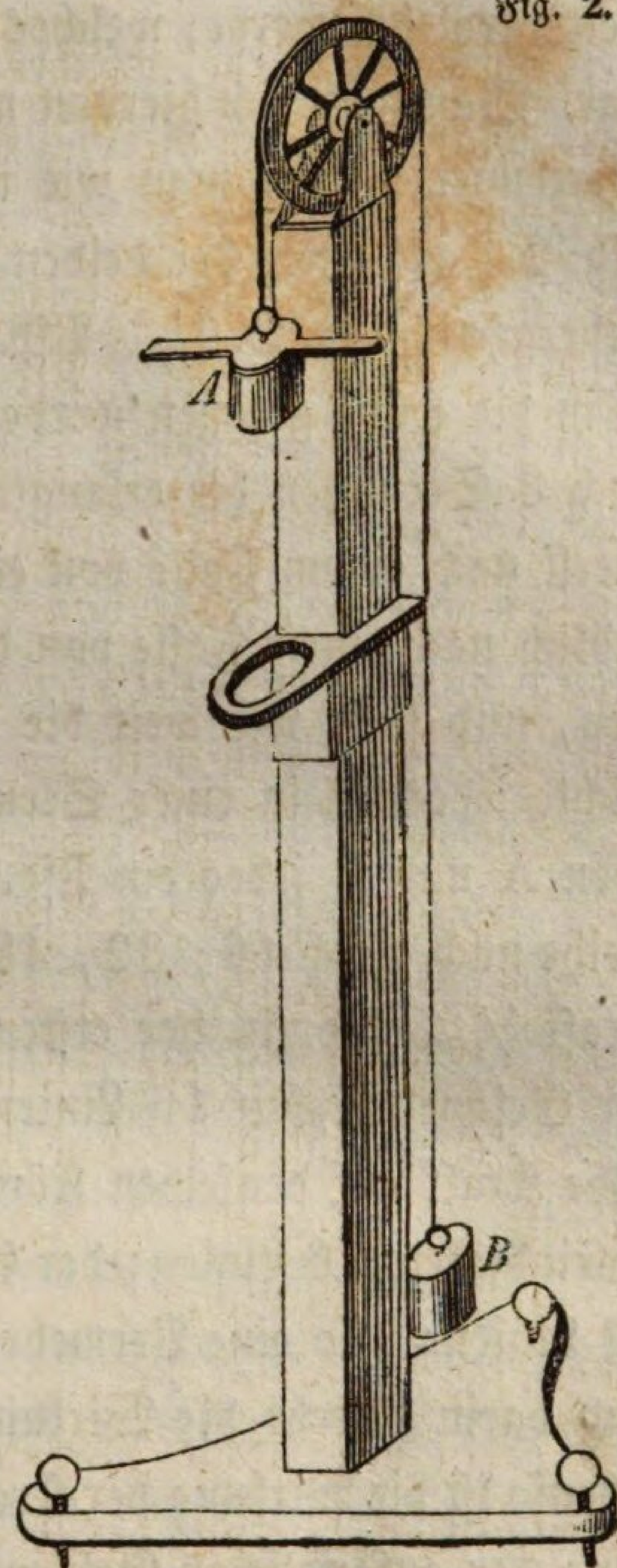
Die oben angegebene Größe der Pferdskraft bezieht sich auf badisches Maaß und Gewicht, bei anderm Maaße wird die Zahl 500 etwas anders, so in Baiern 459, in Darmstadt 600, in Preußen 510, in Oestreich 424, in Würtemberg 557 u. s. f., was man bei Berechnungen beachten muß.

12. Bisher haben wir die Wirkung einer Kraft bei gleichförmiger Bewegung, also im Gleichgewicht mit dem Widerstande betrachtet; wirkt aber eine Kraft auf einen Körper, ohne daß dieser durch einen Widerstand zurückgehalten wird, oder ist wenigstens die Kraft im Ueberschuß gegen den Widerstand vorhanden, so wird die Wirkung der Kraft, oder dieses Ueberschusses an Kraft in der Hervorbringung von Bewegung, in Vermehrung der Geschwindigkeit des Körpers bestehen.

Ueberall, wo ein Körper in Bewegung gesetzt wird, sehen wir, daß hierzu eine weit größere Kraft erfordert wird, als später, wenn diese Bewegung nur erhalten werden soll, was z. B. vom Anziehen eines Wagens Jedermann bekannt ist; hier besteht die Wirkung nur in der Ueberwindung der Widerstände, dort müssen ebenfalls diese Widerstände gewältigt werden, zugleich aber muß auch Bewegung erzeugt, Geschwindigkeit mitgetheilt werden.

Man hat in den physikalischen Kabinetten eine Vorrichtung, die sehr geeignet ist, diese Sätze anschaulich zu machen; sie ist unter dem Namen der Atwood'schen Fallmaschine bekannt. Auf einem Ständer ist oben eine sehr leicht bewegliche Rolle befestigt, über welche ein Faden hängt, an dessen beiden Enden zwei gleiche Gewichte hängen. Klar ist, da zwischen diesen beiden Gewichten Gleichgewicht statt findet, daß diese keine Bewegung hervorbringen, und daß sie, wenn eine Bewegung z. B. durch einen Schlag auf das eine Gewicht hervorgebracht ist, diese nicht abändern, sondern gleichförmig darin fortgehen. Legt man nun auf das eine dieser beiden Gewichte A noch ein kleines Gewicht, so wird jetzt das Gleichgewicht gestört seyn; es

Fig. 2.



wird das Gewicht A mit dem kleinen Gewichtchen niedersinken, und dabei B in die Höhe ziehen, erst langsam und dann in beschleunigter Bewegung schneller; nimmt man endlich das Zulaggewichtchen wieder weg, so tritt plötzlich wieder Gleichgewicht ein, die beiden Gewichte A und B fahren fort mit der erlangten Geschwindigkeit sich gleichförmig zu bewegen. Die Wirkung des kleinen Zulagegewichtes besteht also darin, daß es sich selbst und den beiden Gewichten A und B diese Geschwindigkeit mitgetheilt hat.

Beträgt z. B. jedes der Gewichte A und B ein Pfund, und das zugelegte Gewicht $1/_{100}$ Pfund; sind die Gewichte bei dem Versuche 4 Fuß tief gesunken, was in 5 Secunden geschehen wird, so wird der Versuch lehren, daß die dort erlangte Geschwindigkeit, mit der die zwei Pfunde nach Wegnahme des Zulagegewichtes fortgehen, $^{81}/_{100}$ Fuß beträgt. Um einer Masse von $2^1/_{100}$ Pfund eine Geschwindigkeit von $^{81}/_{100}$ Fuß mitzutheilen, muß somit ein Gewicht von $^1/_{100}$ Pfund 4 Fuß tief sinken oder es ist dazu ein Kraftaufwand von $4 \times {}^1/_{100}$ oder $^4/_{100}$ Fußpfund erforderlich.

Es bleibt nun zu untersuchen übrig, welcher Kraftaufwand im Allgemeinen erforderlich ist, um einem bestimmten Körper eine bestimmte Geschwindigkeit mitzutheilen. Dazu müssen wir zuerst die Bewegung fallender Körper etwas näher betrachten.

13. Die Erfahrung lehrt, daß durch eine und dieselbe Kraft die Geschwindigkeit eines Körpers immer um dieselbe Größe in gleicher

Zeit vermehrt werde, welches auch seine anfängliche Geschwindigkeit war. Man kann sich hiervon mit Hilfe der Atwood'schen Fallmaschine überzeugen. Legt man wie in der vorhergehenden Nummer (siehe Fig. 2.) auf eines der beiden gleichen Gewichte A und B ein kleines Uebergewicht, z. B. $^1/_{100}$ Pfd. auf A, so wird A abwärts sinken und B in die Höhe gezogen werden; mißt man nun nach einer, nach 2, nach 3 Secunden die erlangten Geschwindigkeiten, d. h. nimmt man zuerst nach einem Falle von einer, dann nach einem Falle von zwei, endlich nach einem Falle von drei Secunden Dauer das Uebergewicht weg, und sieht wie weit die nun im Gleichgewichte stehenden Gewichte jedesmal in einer Secunde kommen, so wird man, wenn wie oben A und B jedes ein Pfd. schwer ist, diese Geschwindigkeiten der Reihe nach gleich 16, 32, 48 Linien groß finden. Die Wirkung der Kraft $^1/_{100}$ Pfd. in der ersten Secunde war also die Hervorrufung der Geschwindigkeit 16 Linien; in der zweiten Secunde wirkte dieselbe Kraft auf denselben Körper, aber dieser hatte bereits die Geschwindigkeit 16 Linien; der Erfolg war eine Endgeschwindigkeit von 32 Linien; also eine Vermehrung der Geschwindigkeit um 16 Linien, und darin besteht die Wirkung der Kraft in der zweiten Secunde. Ebenso ist die Wirkung der Kraft in der dritten Secunde eine Vermehrung der anfänglichen Geschwindigkeit von 32 Linien um 16 Linien.

Diese Zunahme der Geschwindigkeit in einer Secunde nennt man auch die Beschleunigung und spricht dann den im Eingange dieser Nummer aufgestellten Satz so aus: Dieselbe Kraft ertheilt demselben Körper unabhängig von der bereits erlangten Geschwindigkeit desselben die nämliche Beschleunigung.

14. Ist die hervorgebrachte Geschwindigkeit die Wirkung der Kraft, so muß auch durch die doppelte Kraft die zweifache Geschwindigkeit, durch die dreifache Kraft die dreifache Geschwindigkeit in derselben Zeit hervorgebracht, oder die mitgetheilte Beschleunigung bei einem und demselben Körper der wirkenden Kraft proportional seyn. Auch dieser Satz läßt sich leicht mit der Atwood'schen Fallmaschine nachweisen. Legt man in dem Beispiele der vorhergehenden Nummer

statt $1/_{100}$ Pfund, das doppelte und dreifache, $2/_{100}$ oder $3/_{100}$ zu, so daß diese Gewichtchen die Bewegung hervorrufen, so werden jetzt die Geschwindigkeiten am Ende der 1sten, 2ten, 3ten Secunde im ersten Falle 32, 64, 96 Linien, im zweiten aber 48, 96, 144 Linien sein; im ersten Falle nimmt die Geschwindigkeit in jeder Secunde um 32, im zweiten immer um 48 Linien zu. Bringt also die bewegende Kraft $1/_{100}$ Pfund in einem Körper die Beschleunigung 16 Linien hervor, so bringt die doppelte Kraft die Beschleunigung $32 = 2 \times 16$ Linien und die dreifache Kraft die dreifache Beschleunigung $48 = 3 \times 16$ Linien hervor.

Zu bemerken ist hier, daß bei diesen Versuchen allerdings die bewegten Körper nicht immer dieselben sind, sie sind vielmehr der Reihe nach 2,01; 2,02 und 2,03 Pfund; sollten die Versuche ganz genau seyn, so müßten die bewegten Körper immer dieselben seyn; die kleinen Unterschiede, welche hier vorkommen, werden aber in ihrem Erfolge bei diesen Versuchen ganz unmerklich seyn.

Aus dem Satze, welcher in dieser Nummer aufgestellt wurde, ergibt sich die wichtige Folgerung, daß man einem Körper mit jedem Ueberschusse an Kraft jede Geschwindigkeit mittheilen kann, daß aber diese Erzeugung von Geschwindigkeit um so langsamer erfolgt, je kleiner jener Kraftüberschuß ist. Will man einem Körper einmal eine bestimmte Geschwindigkeit in 10 Secunden geben, das anderemal aber schon in 5 Secunden, so wird man im letzten Falle eine Kraft anwenden, welche doppelt so groß ist als die zuerst verwendete.

15. Wirkt immer ein und dieselbe Kraft auf einen Körper, oder wenn ein Widerstand da ist, ein und derselbe Ueberschuß an Kraft, so wird auch die Wirkung in gleichen Zeiten immer gleich groß seyn, d. h. die Geschwindigkeit dieses Körpers wird in gleichen Zeiten immer um gleich viel wachsen, er wird was man nennt eine gleichförmig beschleunigte Bewegung annehmen. Dieß sahen wir an dem Versuche in §. 13; eine solche gleichförmig beschleunigte Bewegung muß auch der Fall eines Körpers seyn, wenn alle Widerstände, namentlich der Widerstand der Luft beseitigt sind. Fällt

z. B. ein Körper von 1 Pfund Gewicht, so ist, wenn kein Widerstand da ist, ein Pfund die bewegende Kraft, immer so lange der Fall dauert. Die Erfahrung lehrt, daß dieser Körper in einer Secunde eine Geschwindigkeit von ungefähr 32 Fuß erlangt, und in der Ertheilung dieser Geschwindigkeit besteht also die Wirkung der Kraft 1 Pfund; in der zweiten Secunde muß die Wirkung dieser Kraft dieselbe, also wieder die Ertheilung einer Geschwindigkeit von 32 Fuß sein, womit die Geschwindigkeit des freifallenden Körpers am Ende der 2ten Secunde 32 und noch 32 Fuß = 64 Fuß ist. Am Ende der dritten Secunde wird die Geschwindigkeit wieder um 32 Fuß zugenommen haben, das ist, sie wird 64 + 32 = 96 Fuß sein u. s. f. Ein frei fallender Körper hat also eine gleichförmig beschleunigte Bewegung, bei der die Beschleunigung, die Zunahme der Geschwindigkeit in einer Secunde ungefähr 32 Fuß ist, und zwar wie die Erfahrung (die Naturlehre) zeigt, für alle Körper gleich.

16. Es entsteht nun die Frage, wie weit kommt ein Körper in dieser gleichförmig beschleunigten Bewegung in einer bestimmten Zeit, wie weit fällt z. B. ein Körper in 4 Secunden?

Diese Frage, wie weit ein Körper in einer bestimmten Zeit kommt, beantwortet sich dort, wo er immer dieselbe Geschwindigkeit hat, bei gleichförmiger Bewegung, sehr einfach; ist diese Geschwindigkeit z. B. 10 Fuß, so heißt das: er kommt in einer Secunde 10 Fuß weit, also kommt er in 4 Secunden 4 × 10 oder 40 Fuß weit (§. 4). Bei einer beschleunigten Bewegung ist dieß anders, dort ist anfänglich die Geschwindigkeit klein, vielleicht Null, am Ende größer, welche Geschwindigkeit soll man nun nehmen; mit der ersten wird der berechnete Weg des Körpers zu klein, mit der zweiten zu groß ausfallen. Bei gleichförmig beschleunigter Bewegung nimmt die Geschwindigkeit in jedem gleichen Zeittheil um gleichviel zu; es werden also die Geschwindigkeiten in der letzten Hälfte aller Zeittheile um ebenso viel größer seyn als die Geschwindigkeit in der Mitte, wie die Geschwindigkeiten in der ersten Hälfte aller Zeittheile kleiner sind als diese

Geschwindigkeit in der Mitte, und man wird also auch finden, wie weit der Körper in der betrachteten Zeit kommt, wenn man annimmt, er habe sich die ganze Zeit hindurch gleichmäßig mit der Geschwindigkeit bewegt, welche er in der Mitte dieser Zeit hatte.

Fällt z. B. ein Körper frei herab, so geht er von der Ruhe aus, im Anfange war seine Geschwindigkeit Null; nach der ersten Secunde ist sie 32 Fuß, nach der zweiten 64 Fuß, nach der dritten 96 und nach der vierten $4 \times 32 = 128$ Fuß.

Diese Geschwindigkeiten sind nun

	Anfang	1. Sec.	2. Sec.	3. Sec.	4. Sec.
kleiner oder } um {	64	32	0	—	—
größer	—	—	0	32	64

Fuß als die in der Mitte. Nimmt man also einen Körper an, der sich 4 Secunden lang mit 64 Fuß Geschwindigkeit bewegt, und einen 4 Secunden lang frei fallenden, so wird der erste im Anfange dem zweiten voreilen, da seine Geschwindigkeit in den ersten 2 Secunden größer ist als die des fallenden Körpers; in den 2 letzten Secunden aber wird der frei fallende Körper sich schneller bewegen als der mit 64 Fuß Geschwindigkeit fortgehende und die Folge dieser Ungleichheit der Geschwindigkeiten wird sich ausgleichen am Ende der vierten Secunde, wo beide gleich weit gekommen sind, und von wo an nun der fallende Körper dem andern voreilt. Ein frei fallender Körper wird also in 4 Secunden $4 \times 64 = 256$ Fuß tief fallen. Hat ein Körper anfänglich die Geschwindigkeit 6 Fuß, nimmt diese Geschwindigkeit gleichförmig in 5 Secunden bis zu 30 Fuß zu, so ist die mittlere Geschwindigkeit dieses Körpers, oder die, welche er nach $2^1/_2$ Secunden hat, gleich $\frac{6 + 30}{2} = 18$ Fuß, und sein Weg in diesen 5 Secunden daher $5 \times 18 = 90$ Fuß.

Um also bei einer gleichförmig beschleunigten Bewegung den Weg, den ein Körper in einer bestimmten Zeit durchlauft, zu finden, nehme man das Mittel aus der anfänglichen und der Endgeschwindigkeit und mul-

tiplicire dieses mit der Anzahl der Secunden, welche jene Zeit angibt.

Für eine gleichförmig verzögerte Bewegung, bei der die Geschwindigkeit in gleichen Zeiten gleich viel abnimmt, gilt begreiflich dieselbe Regel. Für Bewegungen, bei denen die Geschwindigkeiten nicht gleichmäßig wachsen oder abnehmen, würde man aber das Mittel aus allen Geschwindigkeiten nehmen müssen, und dürfte sich nicht mehr mit dem Mittel aus der Anfangs- und Endgeschwindigkeit begnügen.

17. Betrachten wir nun die gleichförmige Geschwindigkeit noch etwas genauer. Nehmen wir hierzu der einfachern Zahlen wegen vorerst an, die Beschleunigung, d. h. die Zunahme der Geschwindigkeit in einer Secunde sey 2, so ist, wenn der Körper von der Ruhe aus bewegt wird, die Anfangsgeschwindigkeit Null; am Ende der ersten Secunde die Geschwindigkeit 2, also die mittlere Geschwindigkeit $\frac{0+2}{2} = 1$, womit der Körper in einer Secunde den Weg $1 \times 1 = 1$ durchläuft; dieß ist der Weg in der ersten Secunde.

Am Ende der zweiten Secunde ist die Geschwindigkeit $2 \times 2 = 4$; die mittlere Geschwindigkeit in den zwei ersten Secunden ist also $\frac{0+2}{2} = 2$, und der Weg in diesen zwei Secunden gleich $2 \times 2 = 4$.

Ebenso findet man für die drei ersten Secunden die Endgeschwindigkeit $3 \times 2 = 6$; die mittlere Geschwindigkeit gleich 3, also der Weg in diesen 3 Secunden gleich $3 \times 3 = 9$.

Man sieht leicht wie dieß fortgeht, und erhält so folgende Zusammenstellung für die Beschleunigung 2.

Zeit der Bewegung	Endgeschwindigkeit	Durchlaufener Weg
1 Secunde	$2 = 2$	$1 \times 1 \times 1 = 1$
2 Secunden	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 2 \times 1 = 4$
3 "	$3 \times 2 = 6$	$3 \times 3 \times 1 = 9$
4 "	$4 \times 2 = 8$	$4 \times 4 \times 1 = 16$
5 "	$5 \times 2 = 10$	$5 \times 5 \times 1 = 25$
ꝛc.	ꝛc.	ꝛc.

Die Einheit, in welcher die Beschleunigung ausgedrückt ist, bleibt hierbei noch ganz unbestimmt, und es ist für diese Einheit wie man sieht, immer die halbe Beschleunigung zu nehmen, weil die Beschleunigung gleich 2 angenommen ward.

Damit ergibt sich, daß der Weg in der ersten Secunde immer gleich der halben Beschleunigung ist (ist diese 2, so ist jener Weg 1). Für den freien Fall ist, wie oben angegeben, die Zunahme der Geschwindigkeit in jeder Secunde beiläufig 32 Fuß, also der Fallraum in der ersten Secunde die Hälfte hiervon oder 16 Fuß.

Die obige Zusammenstellung ergibt weiter die Regel: Den Weg in irgend einer Anzahl Secunden findet man, wenn man diese Zahl mit sich selbst, und das Resultat mit der halben Beschleunigung multiplicirt.

Will man z. B. wissen, wie weit ein Körper in 6 Secunden fällt, so erhält man hiernach $6 \times 6 \times 16 = 576$ Fuß.

Für uns ist es zunächst nothwendig zu sehen, wie man aus der bekannten Geschwindigkeit die Fallhöhe berechnen kann. Es ergibt sich dieß leicht aus der Vergleichung beider.

Die Geschwindigkeit am Ende der sechsten Secunde z. B. ist gleich 6mal der Beschleunigung, $6 \times 32 = 192$ Fuß beim freien Fall. Multiplicirt man diese Geschwindigkeit mit sich selbst, so findet man $6 \times 32 \times 6 \times 32$. Die Fallhöhe ist aber $6 \times 6 \times 16$. Man wird also das Resultat der ersten Multiplication noch durch 32 und durch 2 theilen müssen, um die Fallhöhe zu finden. Man erhält so die Fallhöhe $\frac{192 \times 192}{2 \times 32} = 576$ Fuß wie oben.

Man überzeugt sich leicht, daß diese Rechnungsweise immer zum Ziele führt, und hat somit folgenden Satz: Um aus der Geschwindigkeit eines freifallenden Körpers die Höhe zu finden von der er gefallen ist, hat man diese Geschwindigkeit mit sich selbst zu multipliciren und das Resultat mit der doppelten Beschleunigung zu theilen.

18. Nach diesem sind wir nun im Stande den Kraftaufwand zu berechnen, der erforderlich ist, um einem Körper eine bestimmte Geschwindigkeit mitzutheilen.

Fällt ein Körper z. B. von 8 Pfd. Gewicht 4 Fuß tief, so ist nach dem früheren (§. 10.) der Kraftaufwand, so wie die Größe der Arbeit, welche hierdurch geleistet werden kann, gleich $8 \times 4 = 32$ Fußpfund. Fällt der Körper frei abwärts, so besteht die ganze Wirkung der Kraft 8 Pfd. darin, diesem Körper eine Geschwindigkeit mitzutheilen; die Geschwindigkeit aber, welche ein Körper erlangt, wenn er 4 Fuß tief fällt, ist 16 Fuß. Um also einem Körper von 8 Pfd. Gewicht eine Geschwindigkeit von 16 Fuß mitzutheilen, ist ein Kraftaufwand von 32 Fußpfund erforderlich, oder es ist jene Mittheilung von Geschwindigkeit gleichbedeutend mit einer Arbeit von 32 Fußpfund.

Sehen wir einer Masse von 40 Centnern, z. B. einem beladenen Wagen, eine Geschwindigkeit von 4 Fuß ertheilen, so werden wir auf folgende Weise die Arbeit, mit welcher dieß gleich ist, finden. Um eine Geschwindigkeit von 4 Fuß zu erlangen, muß ein Körper von der Höhe $\frac{4 \times 4}{64} = \frac{1}{4}$ Fuß herabfallen. Der Kraftaufwand, der 40 Centnern oder 4000 Pfd. die Geschwindigkeit 4 Fuß mittheilt, ist also gleich mit $4000 \times \frac{1}{4} = 1000$ Fußpfund.

Soll diesem Wagen diese Geschwindigkeit in einer Secunde mitgetheilt werden, so sind hierzu $\frac{1000}{500} = 2$ Pferdskräfte erforderlich. (§. 11.)

Ein besetzter Personenwagen, wie sie auf den Eisenbahnen gebraucht werden, wiegt ungefähr 12000 Pfd.; dieser soll in Bewegung gesetzt, und ihm eine Geschwindigkeit von 40 Fuß mitgetheilt werden. Welcher Kraftaufwand ist hierzu erforderlich?

Eine Geschwindigkeit von 40 Fuß erlangt ein Körper durch einen Fall von der Höhe $\frac{40 \times 40}{64} = 25$ Fuß. Um also dem betrachteten Wagen mit seiner Belastung diese Geschwindigkeit zu ertheilen,

müßte man 12000 Pfd. 25 Fuß tief sinken lassen, d. i. ein Kraftaufwand von $12000 \times 25 = 300000$ Fußpfund.

Sollte diese Arbeit in einer Secunde zu Stande gebracht werden, so erfordert sie $\frac{300000}{500} = 600$ Pferdskräfte; kann man 60 Secunden oder eine Minute verwenden, so wird man noch immer den 60sten Theil oder 10 Pferdskräfte zu dieser Bewegungserregung in dem einzelnen Wagen bedürfen.

Außer diesem Kraftaufwand bedarf man aber in den beiden letzten Beispielen immer noch den andern, der hinreicht die Widerstände aufzuheben.

19. Man sieht an dem letzten Beispiele, wie bedeutend der Kraftaufwand ist, der erfordert wird, um einer großen Masse eine bedeutende Geschwindigkeit zu ertheilen. Dieser Kraftaufwand wächst wie die Größe der Masse, d. h. er wird doppelt so groß, das Dreifache ꝛc., wenn die in Bewegung zu setzende Masse das zwei-, das dreifache Gewicht erhält. Sie wächst aber noch viel schneller mit der Geschwindigkeit; denn die Höhe, von der ein Körper fallen muß, um eine bestimmte Geschwindigkeit zu erlangen, wächst nach §. 17. wie die Geschwindigkeit mit sich selbst multiplicirt, oder wie die Mathematiker sagen, wie das Quadrat dieser Geschwindigkeit; es wächst also auch der Kraftaufwand wie das Quadrat der zu erringenden Geschwindigkeit. Um z. B. einem Körper von 1 Pfd. Gewicht die Geschwindigkeiten 1, 2, 3 Fuß zu ertheilen, sind die Aufwände an Kraft $\frac{1 \times 1}{64}$; $\frac{2 \times 2}{64}$; $\frac{3 \times 3}{64}$ Fußpfund erforderlich, welche wie die Zahlen 1, 4, 9 wachsen.

20. Die Wirkung einer Kraft, welche einen ruhenden Körper angreift, besteht, wie wir gesehen haben, im Hervorbringen von Bewegung, die erlangte Geschwindigkeit oder die Geschwindigkeitszunahme, die Beschleunigung ist das Maaß jener Wirkung. Wirkt umgekehrt eine Kraft, ein Widerstand einer bestehenden Bewegung entgegen, so wird, wie man leicht einsieht, hier die Wirkung in Verminderung der Geschwindigkeit, in Verzögerung bestehen, und wie im

ersten Falle die Beschleunigung in demselben Maaße zunahm wie die Kraft, so wird hier die Verzögerung die doppelte werden, wenn der Widerstand der doppelte ist, so wird die Geschwindigkeit dreimal schneller abnehmen, wenn der Widerstand ein dreimal größerer wird.

Wird ein Körper aufwärts geworfen, so wird seine anfängliche Geschwindigkeit gerade so abnehmen, wie die Geschwindigkeit beim Abwärtsfallen zunimmt. Wir haben oben gesehen, daß die Zunahme im letzten Falle in jeder Secunde 32 Fuß beträgt; es wird also beim Aufwärtswerfen eines Körpers die Geschwindigkeit in jeder Secunde um 32 Fuß abnehmen. Wird also ein Körper mit einer anfänglichen Geschwindigkeit von 96 Fuß in die Höhe geworfen, so wird nach Verlauf einer Secunde seine Geschwindigkeit nur noch 96 — 32 = 64; nach Verlauf der 2ten Secunde nur noch 64 — 32 = 32 Fuß sein, und nach Verlauf der 3ten Secunde nur 32 — 32 = 0 Fuß, d. h. der Körper wird in diesem Augenblicke sich nicht mehr nach oben bewegen, sondern er wird jetzt eben aus dem Hinaufsteigen ins Abwärtsfallen übergehen, bei welchem er dann wieder in 3 Secunden der Reihe nach die Geschwindigkeiten 32, 64 und 96 Fuß erlangt, dieselbe, welche er beim Aufwerfen hatte. Aus dieser Betrachtung geht zugleich hervor, daß dieser Körper, mit 96 Fuß lothrecht in die Höhe geworfen, gerade so hoch steigt, als ein Körper fallen muß, um 96 Fuß Geschwindigkeit zu erlangen, das ist nach (Nro. 17.) $\frac{96 \times 96}{64} = 144$ Fuß.

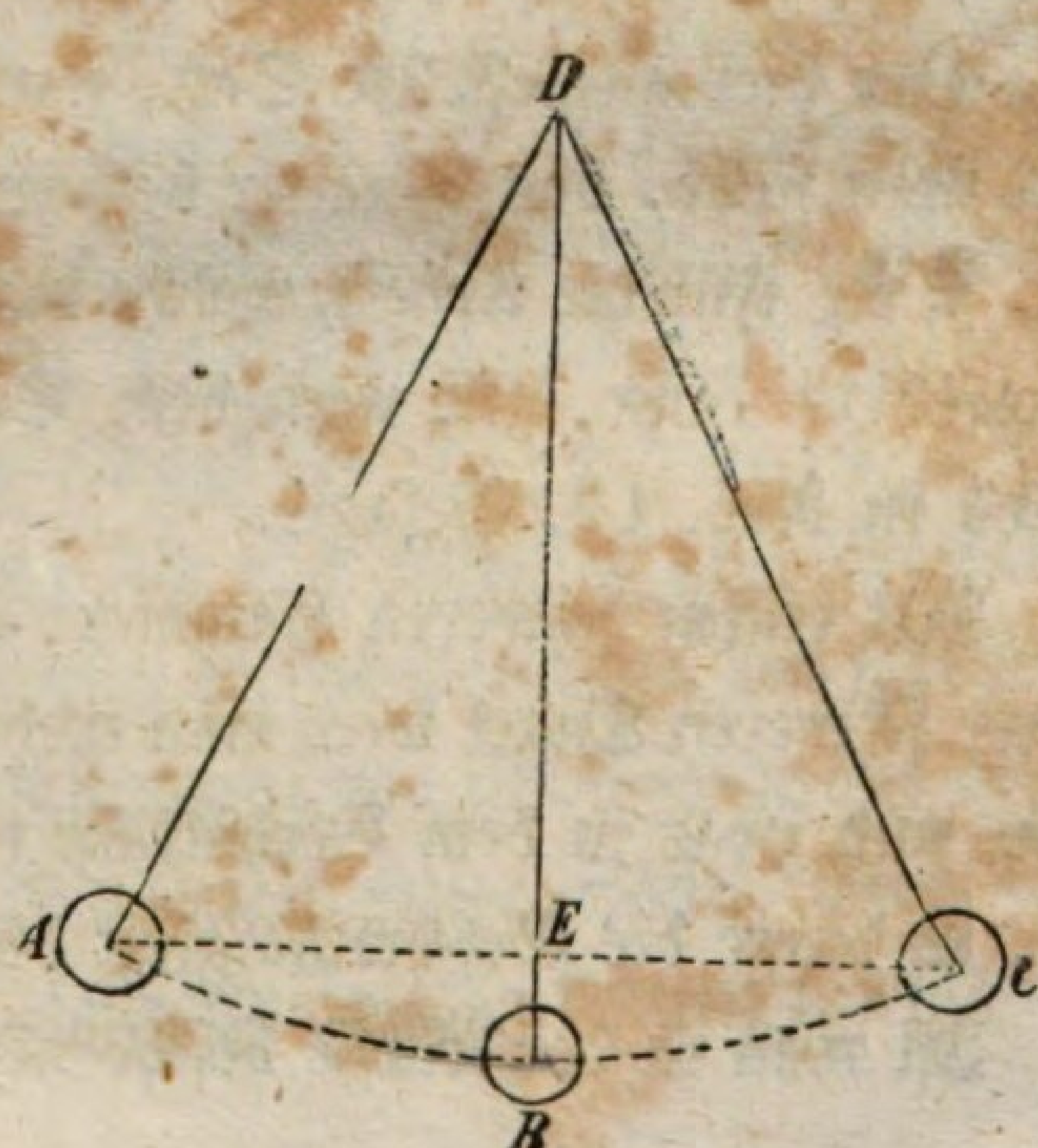
21. Dieser Körper, welcher mit 96 Fuß Geschwindigkeit anfängt, in die Höhe zu steigen, hat durch diese Geschwindigkeit die Fähigkeit erhalten, sich 144 Fuß hoch zu erheben, also die Arbeit auszuführen, sein eigenes Gewicht 144 Fuß hoch zu heben. Wiegt er z. B. 10 Pfd., so ist diese Arbeit 144 × 10 = 1440 Fußpfund.

Man sieht leicht, daß sich dieses Beispiel dahin verallgemeinern läßt, daß ein Körper, der 10 Pfund wiegt, und der die Geschwindigkeit 96 Fuß hat, im Stande ist, die Arbeit 1440 Fußpfund zu leisten, und daß überhaupt ein Körper, welcher eine bestimmte

Geschwindigkeit hat, hierdurch fähig ist, eine Arbeit zu leisten, welche dem Kraftaufwand, durch den dieser Körper seine Geschwindigkeit erlangt hat, gleich ist, oder was dasselbe heißt, man bedarf, um einem Körper eine Geschwindigkeit zu ertheilen, und um ihm diese Geschwindigkeit zu nehmen, beidemal denselben Kraftaufwand.

In der letzten Form wird dieser Satz manchem sehr auffallend erscheinen. Wenn Pferde einen Wagen anziehen, so haben sie doch gewiß mehr Kraft aufzuwenden, als wenn sie denselben wieder anhalten — diese Erfahrung ist gewiß richtig, aber sie beweist nichts gegen unsern Satz. Beim Anziehen eines Wagens hat man Kraft aufzuwenden, um der Masse desselben Geschwindigkeit mitzutheilen, und außerdem um die Bewegungswiderstände, die Reibung zu überwinden. Beim Anhalten hat man Kraft aufzuwenden, um die Geschwindigkeit aufzuheben; dieser Kraft kommen aber hier die Bewegungswiderstände zu Hilfe, und diese werden für sich allein in einer hinreichenden Zeit die Bewegung zernichten, und nur, wenn das Stillstehen in kürzerer Zeit erfolgen soll, ist noch ein besonderer Kraftaufwand hierzu erforderlich. Dort wo diese Bewegungswiderstände geringer sind, da tritt auch der Kraftaufwand, der zum Aufhalten erfordert wird, deutlicher hervor, auf glätteren Straßen, auf den Eisenbahnen.

Fig. 3.



Man hat einen ganz einfachen Apparat, um sich den obigen Satz anschaulich zu machen. Hängt man einen schweren Körper, z. B. eine Bleikugel, an einem Faden auf, so wird diese Kugel in Ruhe vertical wie DB herabhängen. Wird die Kugel nach A hinüber bewegt, so wird das Gewicht der Kugel diese abwärts bewegen, d. h. die Kugel wird mit zunehmender Geschwin-

digkeit von A nach B sinken; in B angelangt wird die Kugel mit der erlangten Geschwindigkeit ihre Bewegung fortsetzen, und wird bis nach C so hoch steigen, als sie früher gefallen ist. In C angelangt, wird die Kugel ihre Geschwindigkeit völlig verloren haben, und jetzt wird ihr Gewicht sie wieder fallen machen, und so werden sich die Schwingungen des Pendels fortsetzen.

Um der Kugel die Geschwindigkeit zu ertheilen, welche sie in B hat, müßte diese von der Höhe EB herabfallen; wiegt die Kugel 2 Pfd. und ist EB gleich 1 Fuß, so ist der Kraftaufwand, durch welchen die Kugel ihre Geschwindigkeit in B erhielt, gleich $2 \times 1 = 2$ Fußpfund. Durch die erlangte Geschwindigkeit ist nun diese Kugel fähig, von B nach C zu steigen, also ihr Gewicht (2 Pfd.) auf eine Höhe gleich EB (1 Fuß) zu erheben, also die Arbeit $2 \times 1 = 2$ Fußpfund zu leisten, was mit dem Kraftaufwand beim Herabsinken gleich groß ist, wie dieß unser Satz angibt.

Daß bei dem betrachteten Versuche die Kugel in der That nie mehr vollständig ihre frühere Höhe erreicht, sondern nach und nach immer kleinere Bogen beschreibt, bis sie endlich ganz stille hält, rührt, wie man leicht sieht, von den Bewegungswiderständen, hier namentlich davon her, daß immer auch Luft bewegt werden muß, was eine weitere Arbeit ist. Wo diese Widerstände sehr klein sind, steigt die Kugel auch beinahe wieder auf ihre frühere Höhe, was man schon daran sieht, daß man solche Pendel hat, die mehrere Tage lang fortschwingen.

Der hier aufgestellte Satz, namentlich in seiner 2ten Form, ist, wie man sieht, das genauer bestimmte Trägheitsgesetz.

22. Für die Arbeit, welche man durch eine sich bewegende Masse ausführen kann, gilt nach dem Satze der vorhergehenden Nummer alles in Nro. 19. Gesagte.

Mit einem schweren Hammer, einem schweren Fallblock (Katze), einer schweren Kugel wird man mehr ausrichten, als mit einem leichten, und zwar in dem Verhältniß mehr, in dem das Gewicht größer ist, so lange die Geschwindigkeit dieselbe ist.

Ist man in der Masse beschränkt, so kann man sich mit der Ge-

schwindigkeit helfen, welche man dieser Masse ertheilt, und hier ist zu beachten, daß bei Verdoppelung der Geschwindigkeit die Wirkung der so bewegten Masse das 4fache, bei dreifacher Geschwindigkeit das 9fache ꝛc. wird.

Ein Hammer von 400 Pfd. Gewicht, der 2 Fuß herabfällt, hat die Wirkung $400 \times 2 = 800$ Fußpfund. Eine nur 2löthige Kugel aus einer Flinte abgeschossen, hat die Wirkung von beiläufig 1400 Fußpfund; es ist nämlich die Geschwindigkeit einer solchen Kugel ungefähr 1200 Fuß; die zu dieser Geschwindigkeit gehörende Fallhöhe $\frac{1200 \times 1200}{64} = 22500$ Fuß, und also die Arbeit, welche die Kugel bis zu ihrem Aufhalten leistet, $22500 \times \frac{1}{16} = 1400$ Fußpfund ungefähr. Dieselbe Kugel, wenn sie so hoch herabfällt, wie der obige Hammer, hat dagegen nur die Wirkung $\frac{1}{16} + 2 = \frac{1}{8}$ Fußpfund und kann ganz gut mit der Hand aufgefangen werden.

23. Die Arbeit, welche man durch eine in Bewegung befindliche Masse leisten kann, setzt in dieser eine Kraft voraus; durch das in Bewegung Setzen wird Kraft in der bewegten Masse gleichsam aufgespeichert, welche dann diese Masse fähig macht, einen ihr dargebotenen Widerstand zu überwinden, eine Arbeit zu geben. Man ist deßhalb übereingekommen, von der lebendigen Kraft eines bewegten Körpers zu sprechen, und setzt diese gleich mit der Größe der Arbeit, welche dieser Körper durch Vernichtung seiner Geschwindigkeit zu leisten vermag. Diese lebendige Kraft eines bewegten Körpers ist nach dem vorhergehenden gleich mit dem Kraftaufwand, der erforderlich war, diesem Körper seine Geschwindigkeit zu ertheilen, oder gleich mit dem Gewichte des Körpers multiplicirt mit der zu seiner Geschwindigkeit gehörenden Fallhöhe. Zu bemerken ist hier, daß die Schriftsteller über Mechanik, wenigstens die neuern, das doppelte dieses Products die lebendige Kraft einer Masse nennen. Das naturgemäßere ist offenbar das obige.

Man sieht leicht die große Wichtigkeit dieser Sätze. Man sieht jetzt, wie es möglich ist, mit einer verhältnißmäßig kleinen Kraft durch

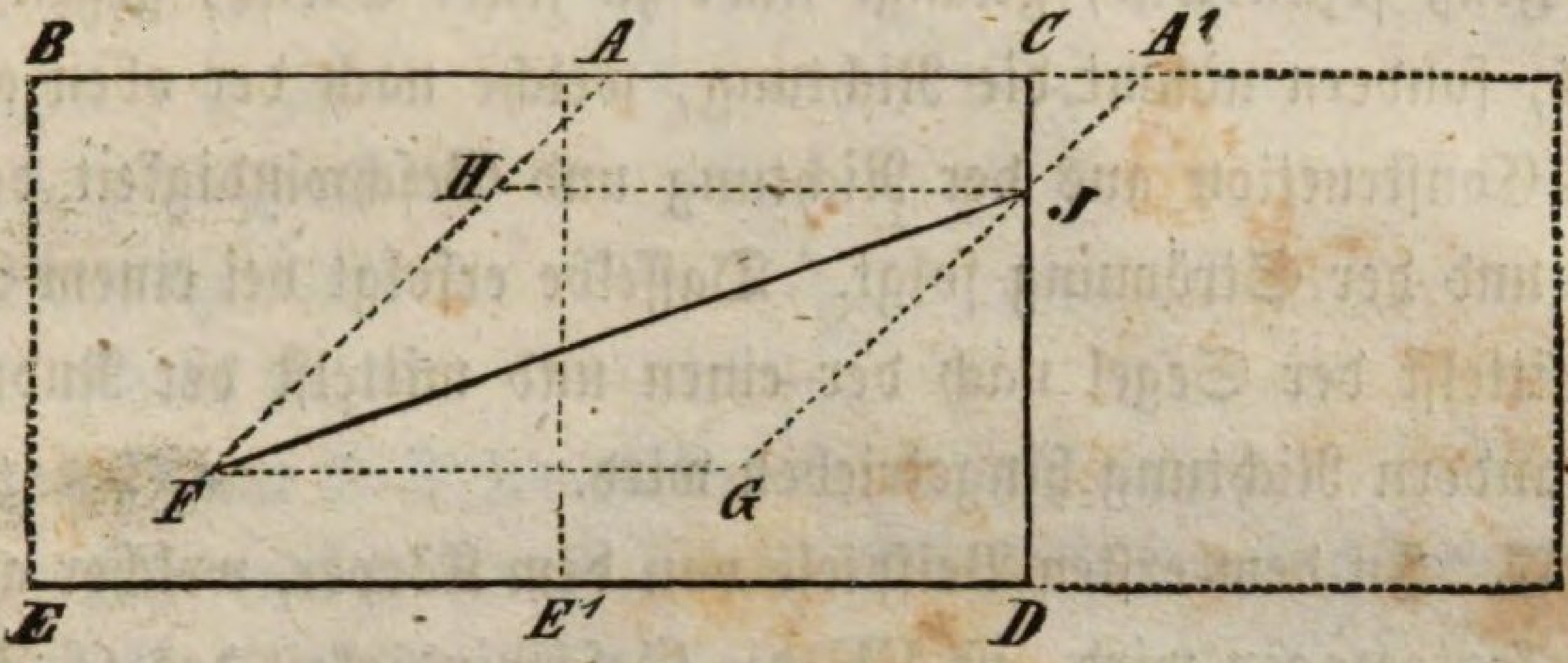
längeres Angreifen einer Masse eine große Geschwindigkeit zu ertheilen, dadurch jene Kraft als lebendige Kraft dieser Masse zu sammeln, und dann plötzlich die so lange gesammelte Kraft zur Ueberwindung eines großen Widerstandes, zur Hervorbringung eines schnellen, aber sehr großen Drucks z. B. wie bei den älteren Prägstöcken zu verwenden.

Oder man hat einen Widerstand zu gewältigen, der bald kleiner bald größer, bei einer gleichmäßig wirkenden Kraft bald ein viel rascheres Gehen der Maschine, bald wieder ein fast völliges Stillstehen zur Folge hätte, eine Unregelmäßigkeit, die in den meisten Fällen die Maschine selbst bald ruiniren und sehr nachtheilig auf das Fabricat selbst einwirken würde, wie z. B. bei dem gewöhnlichen Spinnrade. Um diese Unregelmäßigkeiten wenn auch nicht ganz zu beseitigen, doch wenigstens innerhalb unschädlicher Grenzen zu halten, bringt man in die Maschine eine große Masse, gewöhnlich in der Form eines Rades, des Schwungrades, und läßt dieses an der Bewegung Theil nehmen. Ist der Widerstand klein, oder wächst die Kraft, so wird auch jetzt noch die bewegte Masse durch den Ueberschuß an Kraft eine beschleunigte Bewegung annehmen, aber weil dieselbe Kraft jetzt auf eine große Masse einwirkt, so wird sich die Geschwindigkeit nur sehr langsam ändern. Es wird dann der Zeitpunct eintreten, wo der Widerstand größer oder die Kraft kleiner wird; hat der Widerstand das Uebergewicht über die Kraft, so wird jetzt eine Abnahme der Geschwindigkeit eintreten; diese wird aber um so geringer sein, je größer die lebendige Kraft der ganzen bewegten Masse ist, je größer also diese Masse ist und je schneller sie sich bewegt. Und so wird, bis wieder die Periode eintritt, wo Kraft und Last im Gleichgewichte sind, durch die angebrachte Masse die Geschwindigkeit viel weniger abgenommen haben, als ohne diese, und also der Gang der Maschine ein viel gleichmäßigerer werden.

24. Bisher haben wir immer angenommen, es könne der bewegte Körper der Kraft in der Richtung folgen, in welcher er gezogen wird. Sehr häufig ist dieß aber nicht der Fall, sehr häufig ziehen mehrere Kräfte nach verschiedenen Richtungen an demselben Körper,

und es entsteht daher die Frage, welche Bewegung wird in diesem Falle der Körper annehmen. Wir wollen zuerst an einem einfachen Beispiele den Erfolg mehrerer Kräfte betrachten.

Fig. 4.



Auf einem Floße BC DE befindet sich eine Winde in A, vermittelst welcher ein in F befindlicher Körper gegen A hingezogen wird. In einer Minute z. B. wird dieser Körper von F nach H kommen.

Bewegt sich nun zugleich das Floß, etwa von E bis E' in dieser Minute, so wird auch die Winde A nach A' kommen, es wird der Punct F nach G und H nach J kommen, und der Körper wird sich am Ende der Secunde nicht in H, sondern in J befinden, und es wird jetzt der Weg des Körpers nicht mehr FH sondern FJ gewesen sein, d. h. nach der Sprache der Mathematiker die Diagonale des Parallelogramms FGJH, dessen Seiten FG und FH sind, welche der Körper vermöge der zwei auf ihn einwirkenden Kräfte, der Kraft des fließenden Wassers und der Kraft der Winde, während der Zeit seiner Bewegung einzeln durchlaufen hätte.

Hieraus sieht man leicht, wie man in jedem einzelnen Falle den Weg construiren kann, den ein Körper unter dem Einflusse mehrerer Kräfte durchlauft.

Fällt Regen, so werden in ruhiger Luft die Tropfen lothrecht herabfallen; geht ein Wind, so würde dieser für sich die Tropfen in seiner Richtung forttreiben; aus der Zusammenwirkung beider Kräfte, der Schwere und der Kraft des Windes, ergibt sich wie oben die schiefe Richtung, in welcher die Regentropfen bei bewegter Luft herabfallen.

Eine Kugel, welche bei windigem Wetter abgeschossen wird, geht nicht gerade fort, wie dieß die Kraft des Pulvers bezweckt, sondern wird durch den Wind seitwärts getrieben. Ein Schiff, das quer über einen Fluß setzen will, gelangt nicht zu jener Stelle, gegen die es rudert, sondern nimmt die Richtung, welche nach der oben angegebenen Construction aus der Richtung und Geschwindigkeit des Ruderns und der Strömung folgt. Dasselbe erfolgt bei einem Schiffe, das mittelst der Segel nach der einen und mittelst der Ruder nach einer andern Richtung hingetrieben wird.

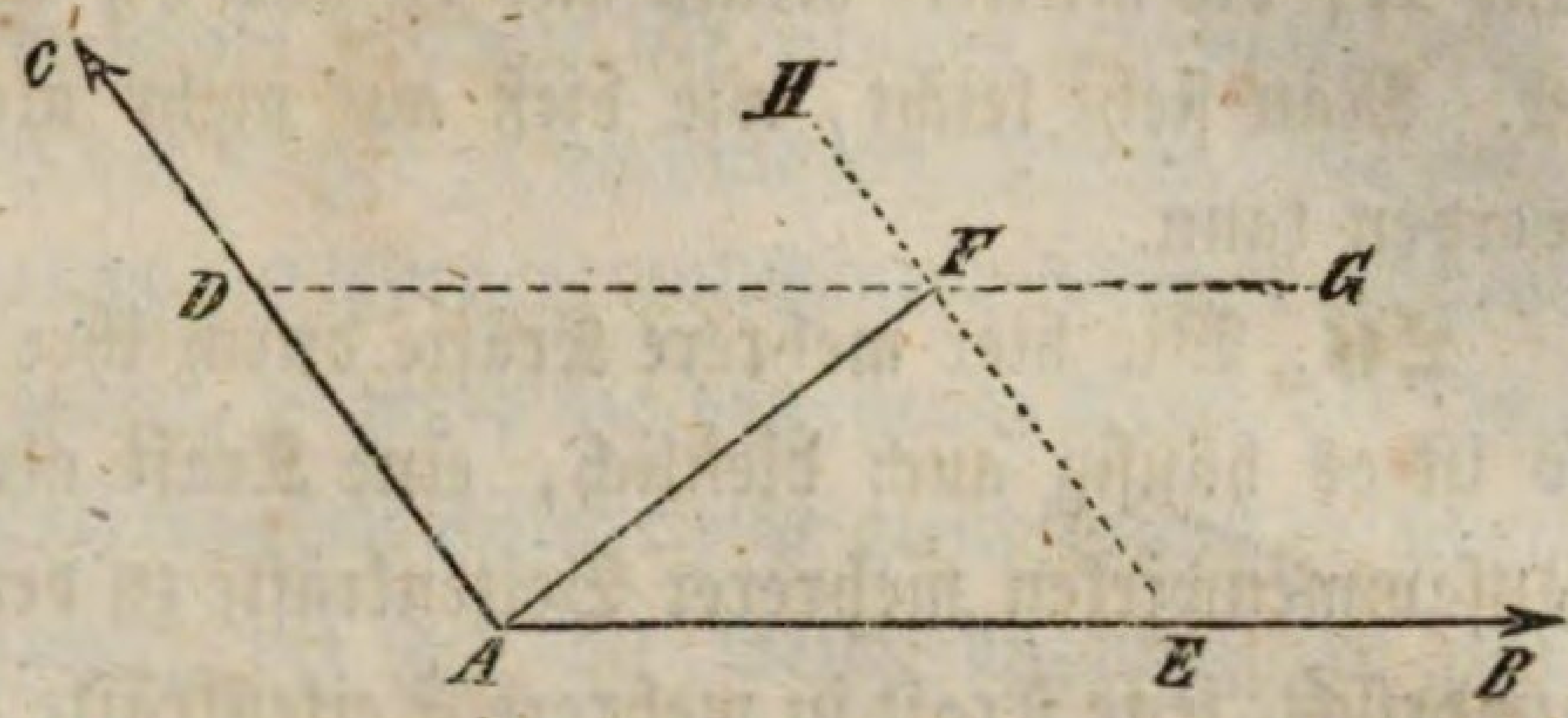
25. In dem ersten Beispiele von dem Körper, welcher auf dem Floße fortgezogen wird, ist FH die Geschwindigkeit des (s. Fig. 4.) gezogenen Körpers in der Richtung der ziehenden Kraft, FG die Geschwindigkeit in der Richtung des Floßes, FJ die wirkliche Geschwindigkeit, mit der sich der Körper bewegt. Man nennt nun FH und FG die Seitengeschwindigkeiten und FJ die resultirende oder mittlere Geschwindigkeit.

Wirken nacheinander verschiedene Kräfte auf einen Körper, so ertheilen sie diesem Geschwindigkeiten, welche sich verhalten wie jene Kräfte, d. h. die doppelte Kraft ertheilt ihm die doppelte, die dreifache Kraft die dreifache Geschwindigkeit ꝛc. Man wird also auch sagen können: stellt FH die Größe und Richtung der Kraft vor, welche den Körper in F nach H hinzieht, so stellt FG die Größe und Richtung der Kraft vor, welche den Körper in der Richtung der Strömung forttreibt, und die Bewegung erfolgt so, als ob der Körper statt durch diese beiden Kräfte durch eine dritte Kraft, welche der Größe und Richtung nach durch die Linie FJ ausgedrückt ist, fortgezogen würde. Hiernach heißen nun FG und FH die Seitenkräfte und FJ die mittlere Kraft, das Parallelogramm FGJH aber das Kräftenparallelogramm.

Man kann also zwei Kräfte, welche zugleich einen Körper zu bewegen suchen, durch eine dritte, die mittlere Kraft, ersetzen, und findet die Größe und Richtung dieser mittleren Kraft durch Construction des Kräftenparallelogramms. Hat man z. B. die zwei Kräfte 5 Pfd.

und 8 Pfd. auf den in A befindlichen Körper nach den AC und AB einwirkend, so trage man in der Richtung AC 5, und in der Richtung AB 8 gleiche Theile, z. B. Zolle auf; diese mögen bis D und E gehen, ziehe

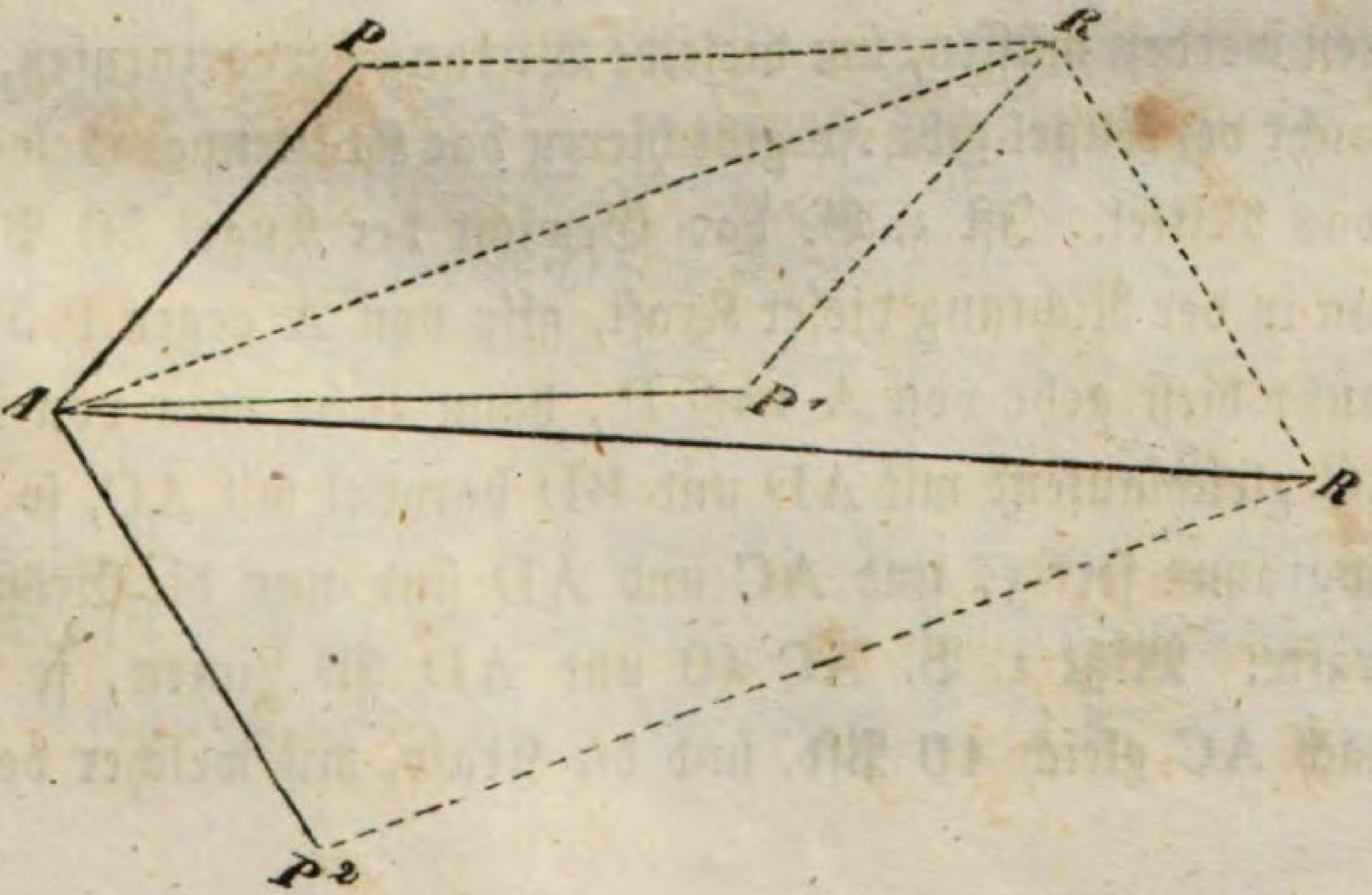
Fig. 5.



dann durch D und E 2 Parallellinien zu AB und zu AC, DG und EH, und ziehe endlich von A aus die Diagonale nach dem Durchschnittspuncte F jener beiden Parallellinien, so wird die Linie AF die Größe und Richtung der mittleren Kraft angeben. Ist diese Linie AF z. B. gleich $6\frac{1}{2}$ Zoll, so sagt dieß, unter dem Einflusse der beiden Kräfte, 5 Pfd. nach AC und 8 Pfd. nach AB bewegt sich der Körper A in der Richtung AF und gerade so, als ob er dahin einzig durch eine Kraft von $6\frac{1}{2}$ Pfd. gezogen würde. Für die Betrachtung dieser Bewegung wird es also ganz gleichgültig seyn, ob man die beiden Kräfte AC und AD oder nur die mittlere Kraft AF als wirksam denkt.

Wirken mehr als zwei Kräfte auf einen Punct eines Körpers, so kann man ebenso, wie dieß eben geschehen ist, erst zwei dieser Kräfte zu einer Mittlern zusammensetzen, und dann diese Mittlere mit der dritten Kraft, wodurch man endlich eine Kraft erhält, welche alle drei Kräfte ersetzt. Die Construction erhellt aus nebenstehender Figur,

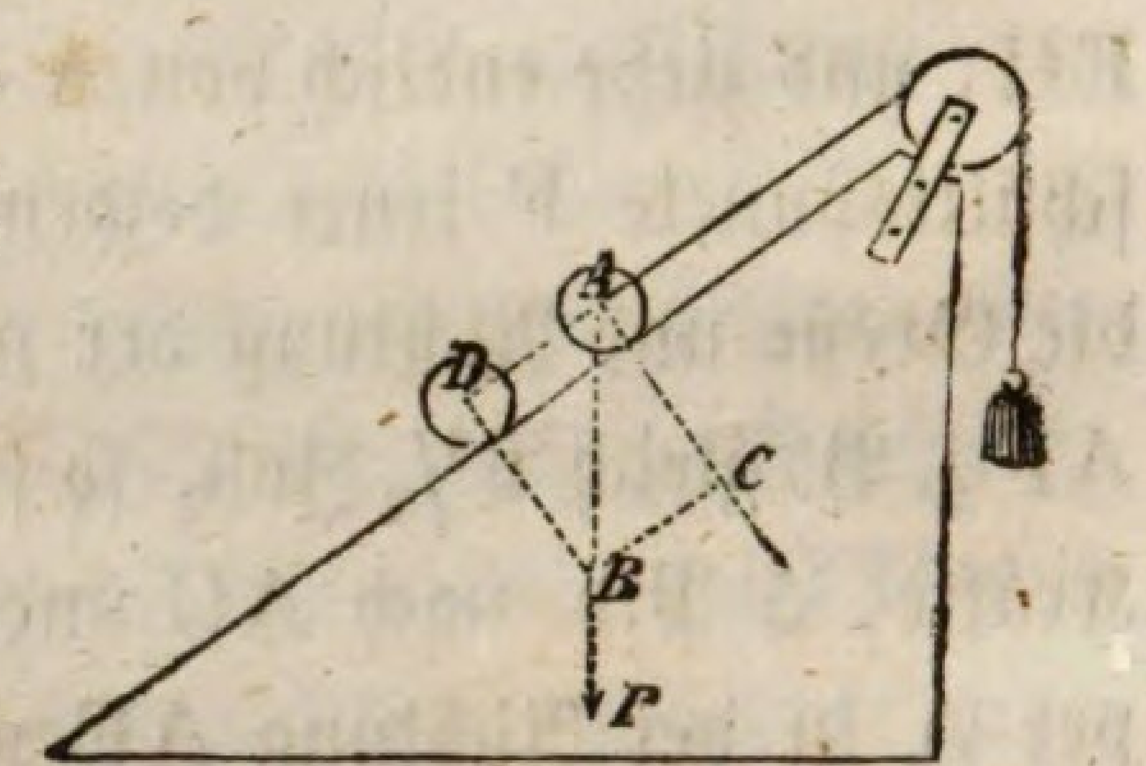
Fig. 6.



in der P, P_1, P_2 die Kräfte, R die mittlere von P_1 und P_2 und R_1 die mittlere Kraft aus R und P_2 oder aus P, P_1 und P_2 ist. Man sieht leicht, wie dieß auf mehr als 3 Kräfte ausgedehnt werden kann.

26. Wie hier mehrere Kräfte durch ihre mittlere ersetzt wurden, so ist es häufig auch dienlich, eine Kraft als entstanden durch das Zusammenwirken mehrerer Seitenkräfte zu denken, oder wie man sich ausdrückt, jene Kraft in mehrere Seitenkräfte zu zerlegen. Liegt z. B. eine Kugel auf einem schiefen Brette, so wird das Gewicht der Kugel diese veranlassen zu sinken, das Brett hindert den freien Fall, die Kugel wird über das Brett hinunterrollen.

Fig. 7.



Das Gewicht der Kugel ist hier die bewegende Kraft, sie kann man zerlegt denken in zwei andere, die eine rechtwinklich auf das Brett wie AC, die andere gleichlaufend mit dem Brette, wie AD. Die erste Seitenkraft preßt die Kugel gegen seine Bahn, führt ihn aber offenbar weder aufwärts noch abwärts; sie bringt keine Bewegung hervor, und wird durch den Widerstand des Brettes aufgehoben. Die zweite dagegen in der Richtung von AD findet keinen Widerstand, als etwa die Reibung an dem Brette, ihr folgt der Körper frei, und sie wird diesen Körper in immer schnellerer Bewegung seine Bahn abwärts führen.

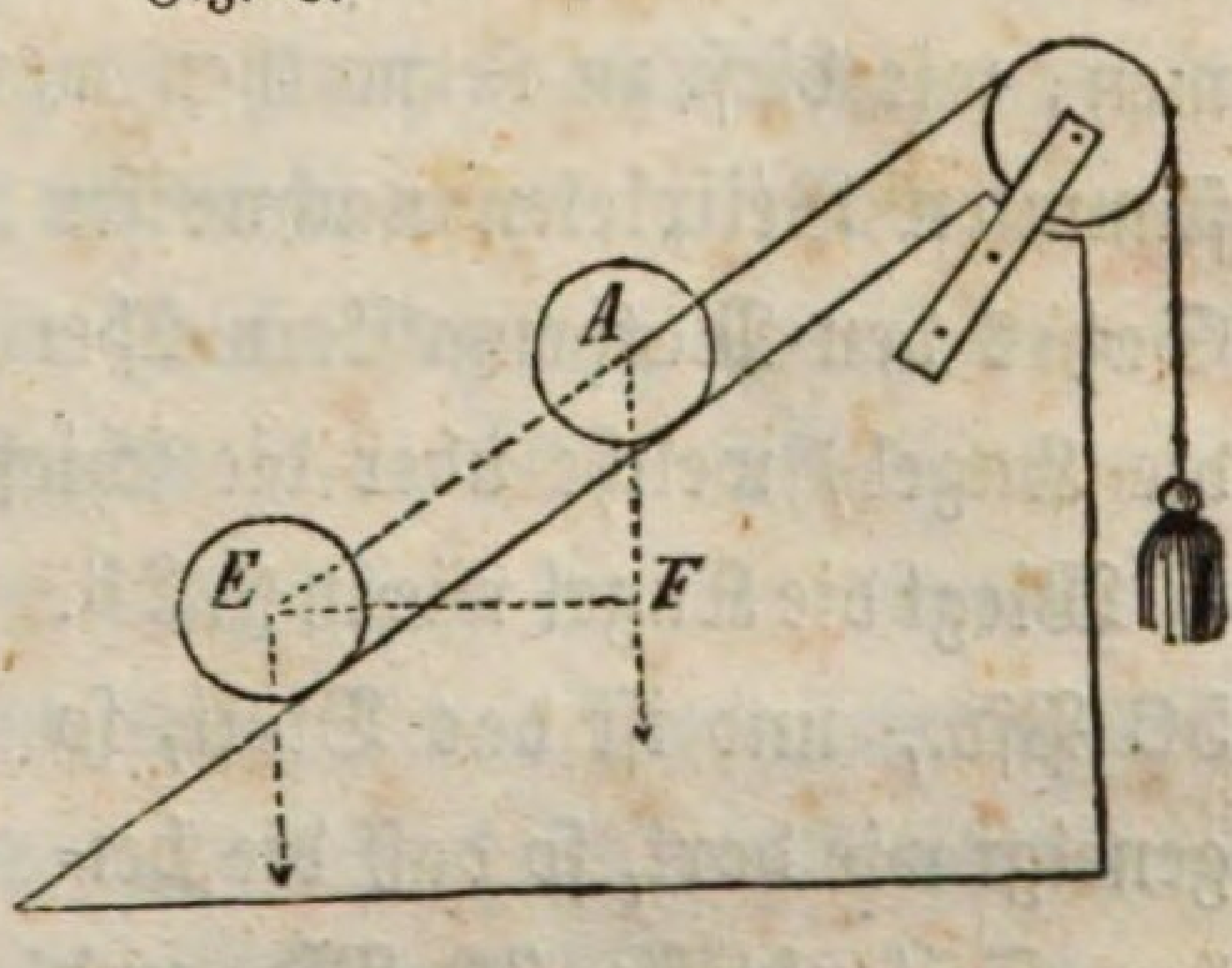
Will man wissen, wie groß diese beiden gedachten Seitenkräfte genommen werden müssen, um dieselbe Wirkung hervorzurufen, welche das Gewicht der Kugel gibt, so gibt hierzu das Kräftenparallelogramm wieder das Mittel. Ist z. B. das Gewicht der Kugel 50 Pfd., so trage man in der Richtung dieser Kraft, also von A gegen P 50 etwa Linien auf; dieß gehe von A nach P, dann ziehe man von B nach C die BC gleichlaufend mit AD und BD parallel mit AC, so ist das Parallelogramm fertig, und AC und AD sind nun die Größen der Seitenkräfte. Mißt z. B. AC 40 und AD 30 Linien, so ist der Druck nach AC gleich 40 Pfd. und die Kraft, mit welcher der Kör-

per in der That über das Brett hinabrollt, gleich 30 Pfd. Bringt man oberhalb eine Rolle an und legt über diese eine Schnur, so wird man an das andere Ende dieser Schnur 30 Pfunde anhängen müssen, um das Hinabrollen der Kugel zu verhindern. Durch diese Zerlegung ist nun die Bewegung des Körpers vollständig bekannt. Würde dieser Körper frei herabfallen, so wäre die bewegende Kraft 50 Pfd., und er würde wie alle freifallenden Körper eine gleichförmig beschleunigte Bewegung annehmen, bei der die Beschleunigung 32 Fuß wäre (§. 15.) Jetzt ertheilt ihm die Kraft 30 die Bewegung; seine Beschleunigung, mit der er über die schiefe Ebene hinabrollt, wird also nur $^{30}/_{50}$ von 32 Fuß oder $19^{2}/_{10}$ Fuß seyn. Während ein frei fallender Körper 16 Fuß tief in der ersten Secunde fällt, würde jene Kugel nur die Hälfte von $19^{2}/_{10}$ oder $9^{6}/_{10}$ Fuß weit in der ersten Secunde längs des Brettes fortlaufen.

Andere Beispiele von Zerlegung der Kräfte werden noch später vorkommen.

27. Sinkt in dem Beispiele der letzten Nummer die Kugel von A bis E, so ist der Kraftaufwand der, daß das Gewicht 50 Pfd. (so schwer ist der Körper angenommen worden) um die Höhe AF abwärts sinkt.

Fig. 8.

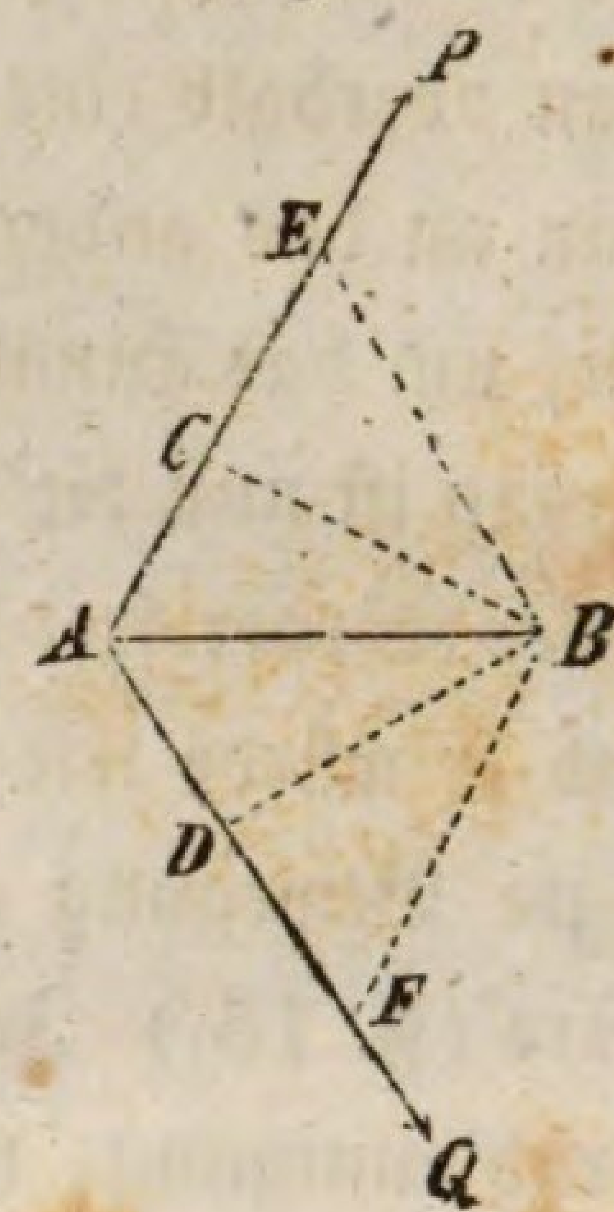


Man sieht, wie hier, wo der Körper der bewegenden Kraft nicht frei folgen, sondern eine andere Bahn als die Richtung dieser Kraft durchlaufen muß, der Weg dieser Kraft nicht mehr zugleich der Weg des bewegten Körpers ist, sondern daß dieser Weg AF gefunden wird, wenn man vom Ende des Wegs des Körpers eine rechtwinkliche auf die Richtung der Kraft zieht.

Wird z. B. ein Körper von zwei Kräften, P und Q angegriffen, und durchläuft deßhalb die Diagonale des Kräftenparallelogramms, wie dieß in nebenstehender Figur angedeutet ist, so sind die Wege der

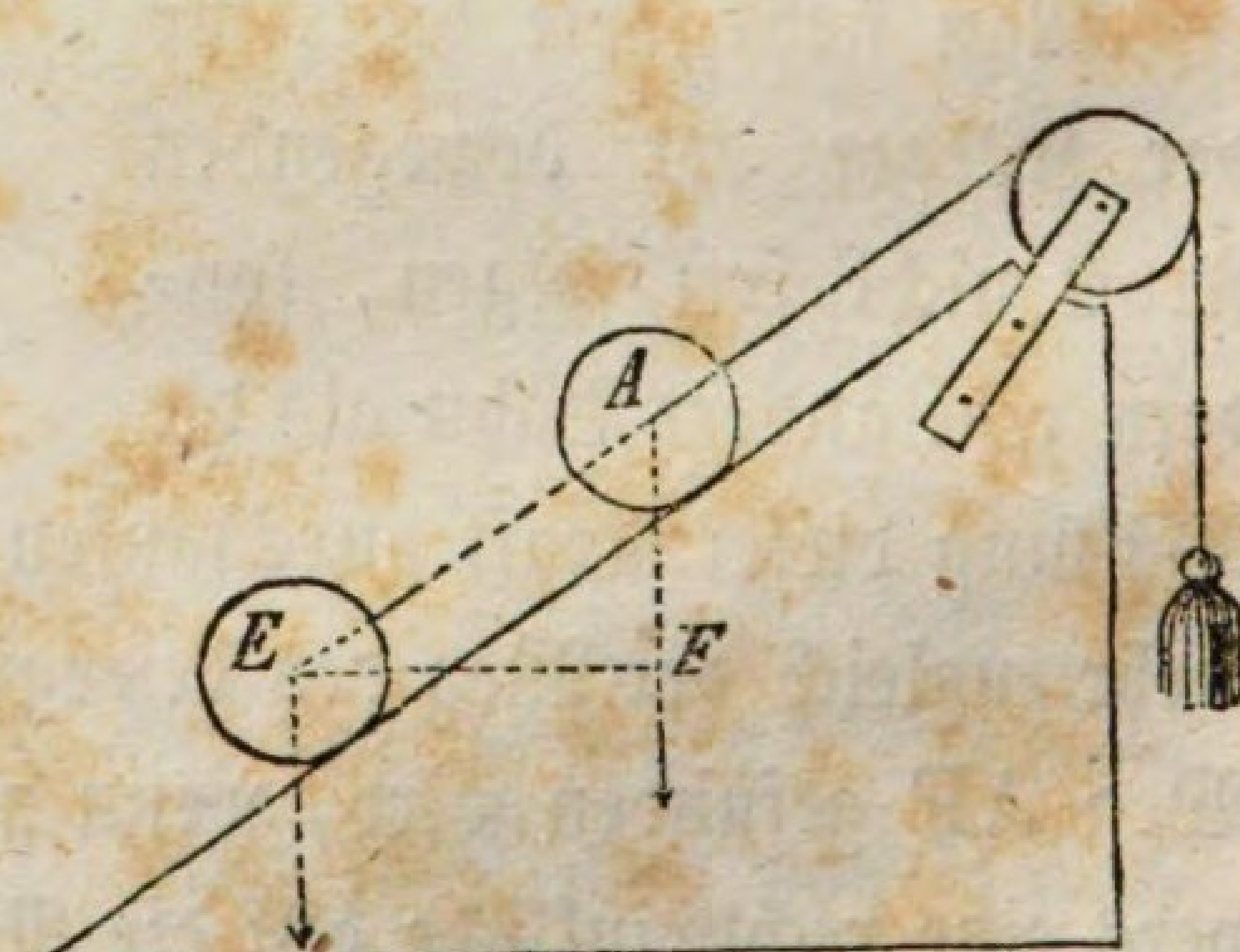
beiden Seitenkräfte, wenn der Körper von A nach B in der That kommt, durch AC und AD angegeben, wenn BC und BD rechtwinklich auf den Richtungen dieser Kräfte stehen.

Fig. 9.



Ist z. B. A ein Schiff, das durch den Wind in der Richtung von P, durch die Strömung in der Richtung von Q fortgeführt wird, und geht das Schiff durch die vereinte Wirkung beider von A nach B, so ist der Weg, den es in der Richtung des Windes durchlaufen hat, AC und der Weg, den dasselbe Schiff in der Richtung der Strömung durchlaufen hat, AD.

Früher haben wir gesehen, daß man die Arbeit einer Kraft beim Gleichgewicht dadurch angeben könne, daß man die Größe dieser Kraft mit dem Wege, durch welchen sie fortgeht, multiplicirt (§. 10.). Wendet man das auf die Arbeit einer mittleren Kraft und ihrer Seitenkräfte an, so findet man, daß die Arbeit, welche die mittlere Kraft leisten kann, so groß ist, als die Arbeiten der Seitenkräfte zusammen, wie dieß zu vermuthen war. Wir wollen dieß an einigen bestimmten Beispielen nachweisen, und den allgemeinen Beweis des Satzes den Mathematikern überlassen. Betrachten wir zuerst wieder die Kugel, welche über die schiefe Ebene hinabrollt.



Wiegt die Kugel wie in §. 26. 50 Pfd., und ist das Brett, so geneigt wie dort, so daß die beiden Seitenkräfte 30 Pfd. und 40 Pfd. werden; bringen wir nun von der Kugel aufwärts eine Schnur an, die über eine Rolle geht, so müssen wir, wie in §. 26. ausgeführt ist, an das andere Ende dieser Schnur ein Gewicht von 30 Pfd. hängen, um Gleichgewicht herzustellen.

Ist die Bewegung abwärts eingeleitet, so wird diese beim Gleichgewichte gleichförmig fortgehen, es wird die Arbeit der Kraft lediglich im Hinaufziehen der Last, nicht aber in Hervorbringung von Geschwindigkeit bestehen, und diese Arbeit wird, wenn die Kugel von A bis E z. B. 5 Fuß weit fortgeht, darin bestehen, daß 30 Pfd. 5 Fuß hoch gehoben würden, oder die Arbeit wird $5 \times 30 = 150$ Fußpfund seyn.

Während dieser Zeit ist die Kugel vom Gewichte 50 Pfd. um das Stück AF gesunken; in einer genauen Zeichnung wird man finden, daß unter den hier vorausgesetzten Umständen, diese Tiefe AF gleich 3 Fuß ist. Die Arbeit, welche diese mittlere Kraft hierbei leisten kann, ist daher $3 \times 50 = 150$ Fußpfund, wie oben.

Die zweite Seitenkraft geht rechtwinklich auf AE, sie bringt in ihrer Richtung keine Bewegung, also auch keine Arbeit hervor.

Es ist also hier die Arbeit der mittleren Kraft gleich den Arbeiten beider Seitenkräfte zusammen.

Nehmen wir als zweites Beispiel das Schiff, das durch Wind und Strömung des Wassers fortgetrieben wird; nehmen wir dabei an, es sey die Kraft des Windes z. B. gleich 3000 Pfd., und der Winkel beider Richtungen gleich 120 Grad oder $1/3$ rechte Winkel, so wird eine hiernach genau gemachte Zeichnung zeigen, daß die mittlere von diesen beiden Kräften ebenfalls gleich 3000 Pfd. seyn wird. Ist dann AB der Weg, durch den das Schiff in einer bestimmten Zeit kommt, etwa gleich 10 Fuß, so ist die Arbeit der mittleren Kraft $3000 \times 10 = 30000$ Fußpfund. Der Weg in der Richtung des Windes ist $AC = 5$ Fuß, also die Arbeit des Windes $3000 \times 5 = 15000$ Fußpfund, und ebenso die Arbeit der Strömung $= 3000 \times AD = 3000 \times 5 = 15000$ Fußpfund. Beide Arbeiten zusammen sind wieder die Arbeit 30000 Fußpfund der mittleren Kraft.

28. Bei einer beschleunigten Bewegung besteht die Arbeit der Kraft in Ueberwindung des Widerstandes und in Ertheilung von Geschwindigkeit (§. 12.), oder wo kein Widerstand vorhanden, allein in dem letztern. Auch hierbei ist die Arbeit der mittleren Kraft den

Arbeiten der Seitenkräfte zusammengenommen gleich. Daraus folgt z. B., daß, wenn ein Körper auf einer schiefen Ebene von A nach E hinabrollt, er in E durch die Seitenkraft dieselbe Geschwindigkeit erlangt hat, welche er beim freien Falle von A nach F erhalten hätte, oder allgemeiner, daß wenn ein Körper in beliebiger Bahn von einem Puncte A zu einer horizontalen Ebene BD hinabfällt, er bei dieser angelangt immer dieselbe Geschwindigkeit erhalten hat. Fließt z. B. Wasser aus einem Gefäße aus, so werden die einzelnen Wassertheilchen in sehr verschiedenen Bahnen nach und nach von der Oberfläche des Wassers BC bis zu der Oeffnung A niedersinken, aber alle werden mit der Geschwindigkeit austreten, welche ein Körper erlangt, der von der Höhe CA herabfällt.

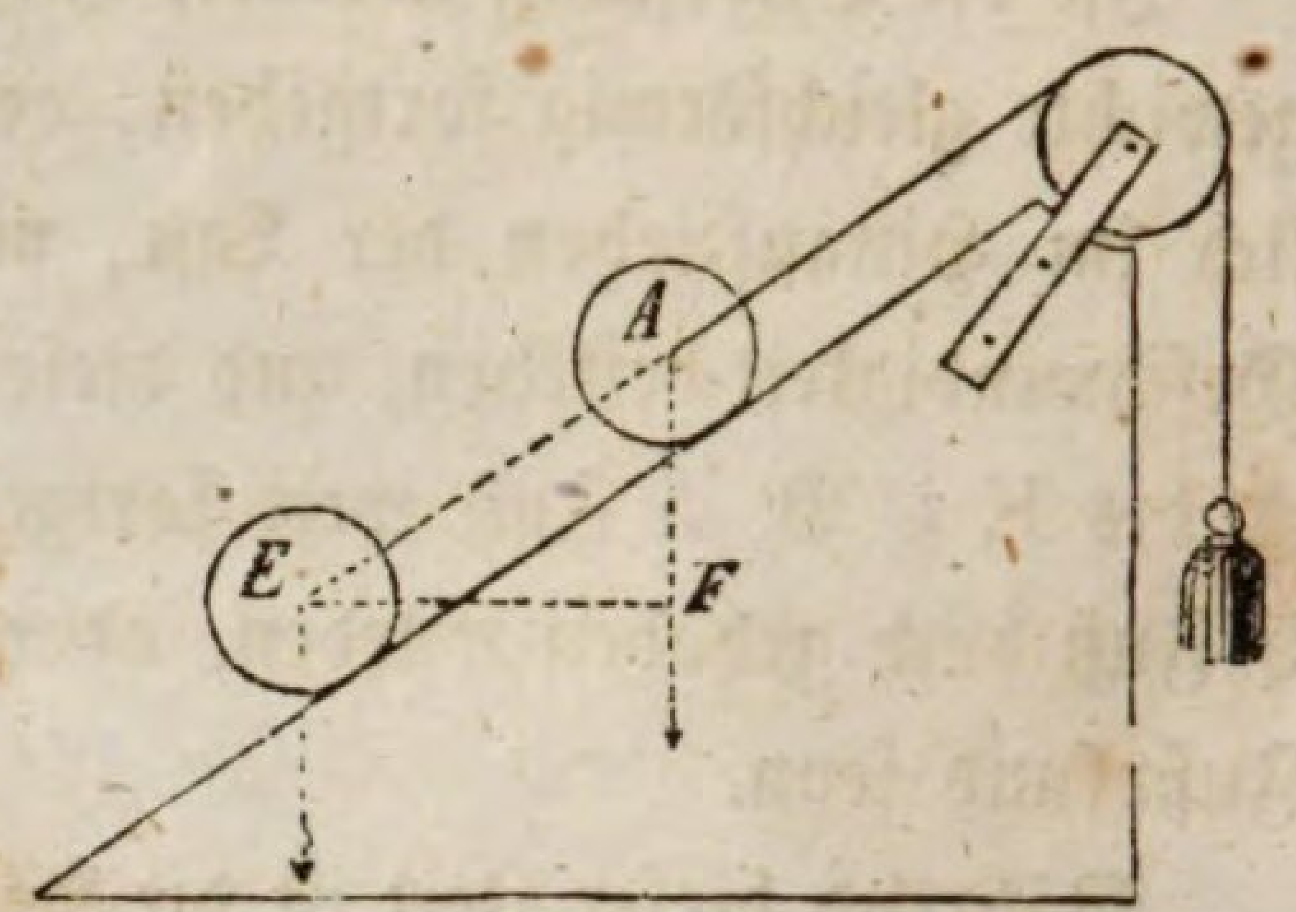
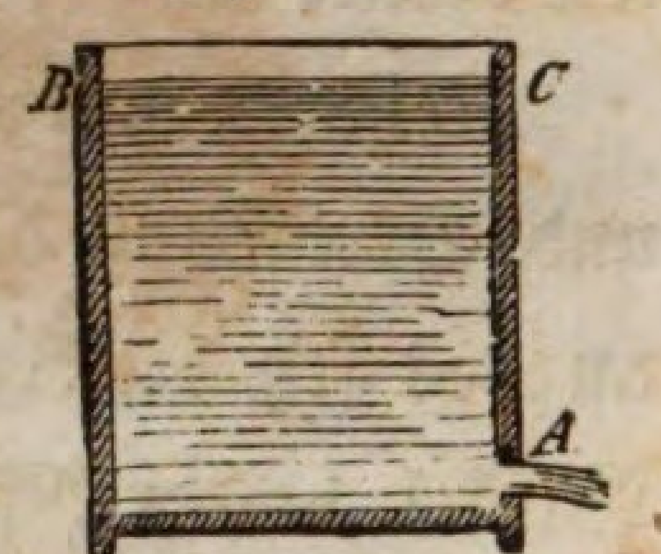


Fig. 10.



Fig. 11.

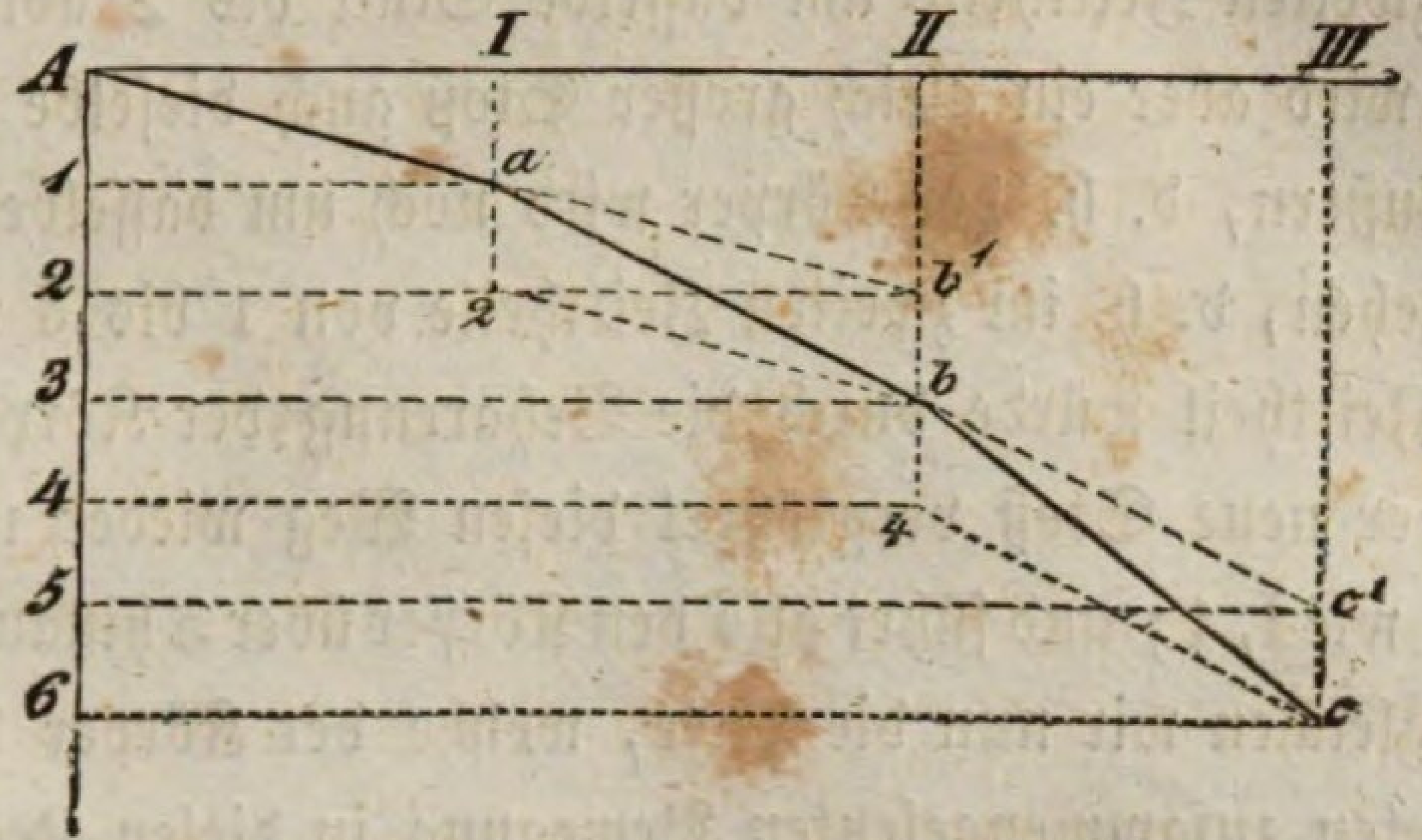


29. Als ein Beispiel einer nicht gleichförmigen Bewegung, bei welcher der bewegte Körper der bewegenden Kraft nicht in ihrer Richtung folgen kann, will ich noch die Bewegung eines horizontal hinausgeworfenen Körpers betrachten.

Zu dem Ende denken wir uns zuerst einen Körper, welcher, horizontal hinausgeworfen, nicht von der Schwere abwärts gezogen wird, dagegen nach gleichen Zeiten immer wieder einen gleich großen plötzlichen Stoß abwärts erhält.

Im ersten Zeittheile wird durch beide Stöße der Körper sowohl horizontal als vertical abwärts gehen; er komme z. B. von A nach a; im zweiten Zeittheil würde der Körper vermöge der Beharrung um

Fig. 12.



ein gleich großes Stück ab^1 vorwärts schreiten; er wird aber in a einen zweiten Stoß vertical abwärts erhalten, welcher ihn, da der Stoß so stark ist wie der erste, auch wieder um dasselbe Stück Ia = a 2 abwärts treibt. Aus beiden Bewegungen ergibt sich die mittlere ab, welches die in der That stattfindende Bewegung des Körpers in dem zweiten Zeittheile ist. Ebenso wird er in dem dritten Zeittheile von b nach c kommen u. s. f.

Betrachten wir nun die Bewegung des Körpers, wenn derselbe nur im Anfange den horizontalen Stoß erhalten hätte. Er wäre damit im ersten Zeittheile von A bis I gekommen und würde sich, da keine Kraft mehr auf ihn wirkt, gleichförmig im zweiten Zeittheil um dasselbe Stück I II; im dritten von II bis III bewegt haben u. s. f. Der zuerst betrachtete Körper kommt in denselben Zeiten nach a, b, c, d. h. er steht immer vertical unter dem zuletzt Betrachteten, der zugleich nach I, II und III kommt; durch die Stöße vertical abwärts wird also an der horizontalen Bewegung des Körpers nichts geändert, und diese Stöße mögen erfolgen in welcher Aufeinanderfolge und in welcher Stärke, immer wird der Körper nach dem ersten Zeittheile sich vertical unter I, nach dem zweiten vertical unter II u. s. f. befinden.

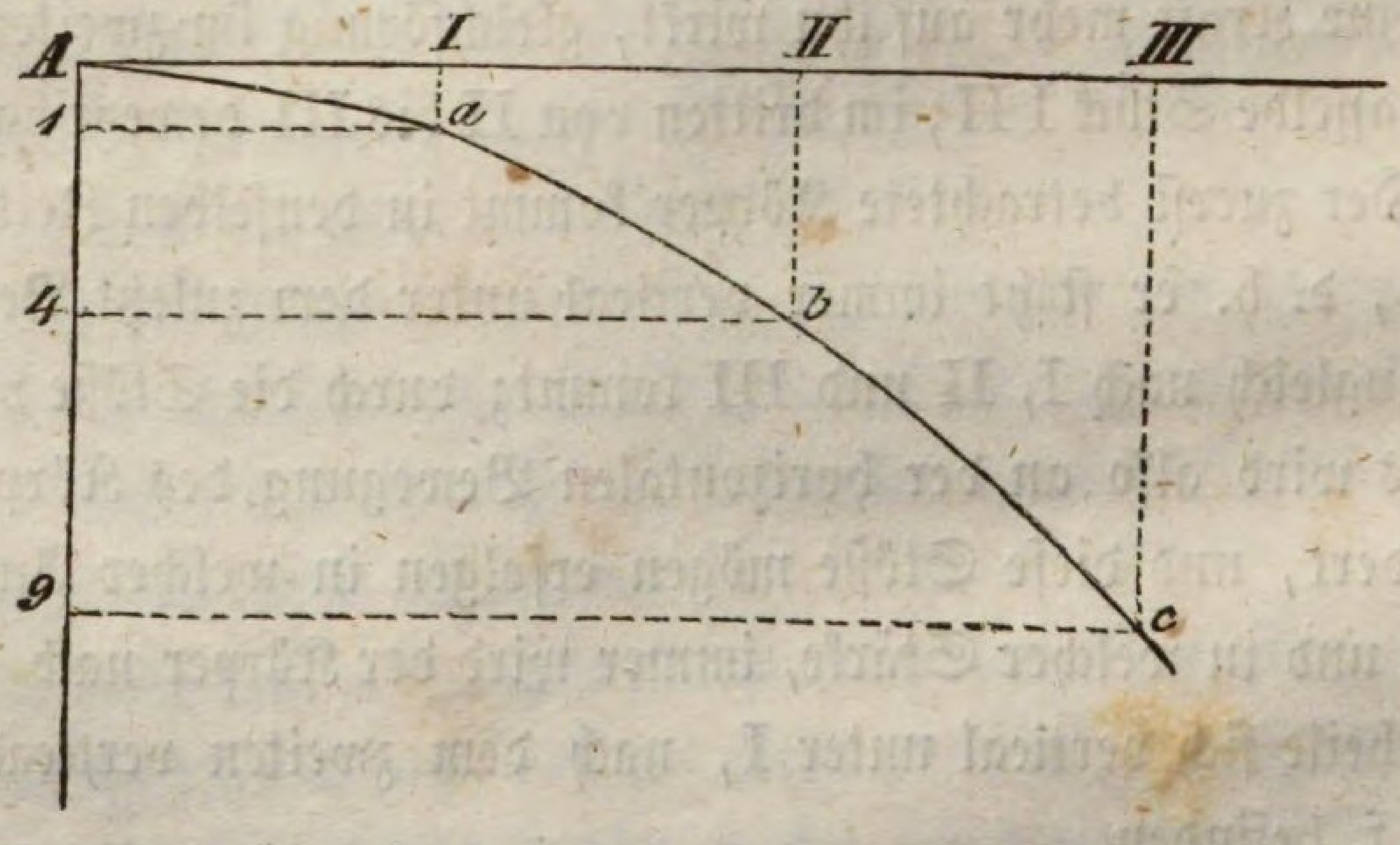
Sehen wir nun, wie sich der Körper bewegt, wenn er ursprünglich keinen horizontalen Stoß erhält, wenn aber die verticalen Stöße in der Weise erfolgen, wie dieß bei der zuerst untersuchten Bewegung der Fall war. Durch den ersten Stoß wird der Körper von I bis 1 im ersten Zeittheile kommen. Die Beharrung wird den Kör-

per im zweiten Zeittheile um dasselbe Stück bis 2 abwärts führen, zugleich wird aber ein gleich großer Stoß auch dieselbe Wirkung wie früher äußern, d. h. der Körper wird noch um dasselbe Stück 1, 2 weiter gehen, d. h. im zweiten Zeittheile von 1 bis 3 kommen. Im dritten Zeittheil würde durch die Beharrung der Körper bis 5 geführt; der neue Stoß vergrößert diesen Weg wieder um ein Stück so groß, wie I, 1; und führt also den Körper über 5 hinaus bis 6 u. s. f.

Vergleichen wir nun die Orte, welche der Körper bei der zuerst betrachteten zusammengesetzten Bewegung in diesen Zeiten erreichte, so sehen wir, daß beide Körper in gleichen Zeiten immer gleich tief unter die Horizontallinie I, III sinken.

Damit haben wir nun ein einfaches Mittel, die Bewegung eines horizontal geworfenen schweren Körpers zu untersuchen. Wir wissen zuerst, daß er in horizontaler Richtung sich gleichförmig fortbewegt, und daß er, wenn er horizontal in einer Secunde den Weg A, I durchlaufen würde, nach der ersten Secunde sich vertical unter I; nach der zweiten unter II, nach der dritten unter III u. s. f. sich findet, vorausgesetzt, daß A, I, II, III gleichweit von einander abstehen.

Fig. 13.



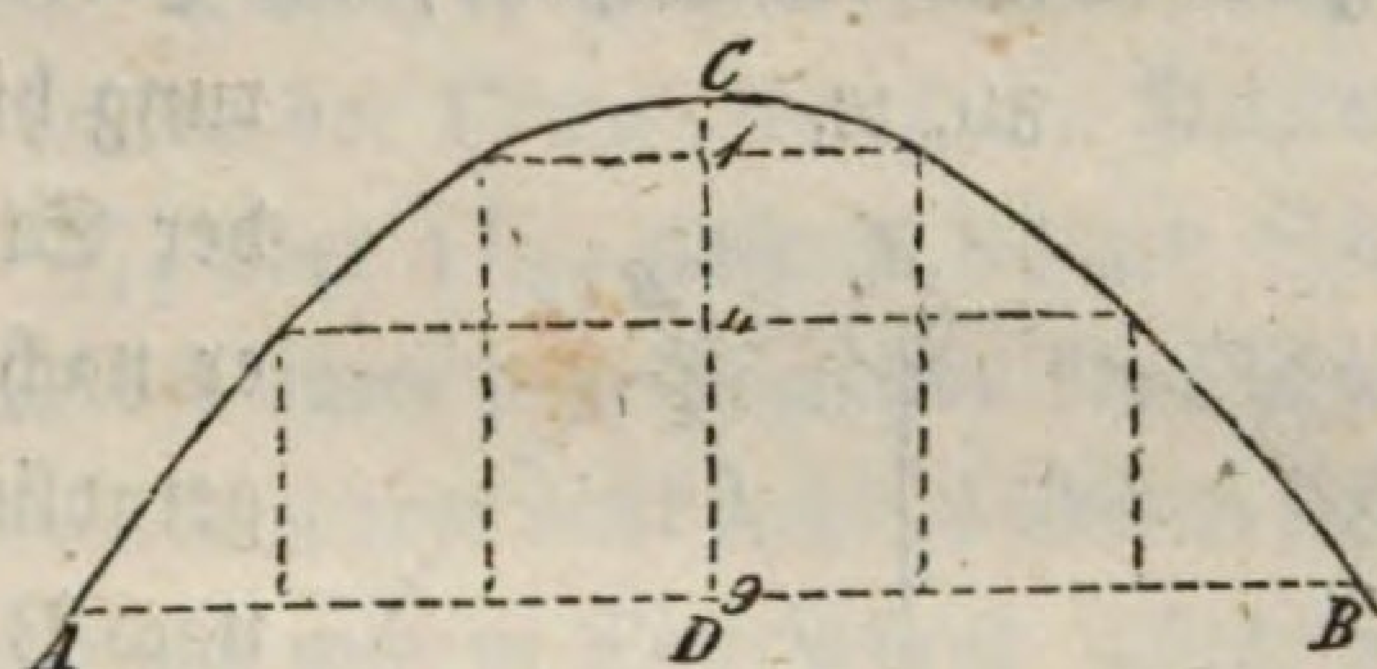
Wir haben ferner aus dem Vorhergehenden erfahren, daß der horizontal geworfene Körper gerade eben so tief abwärts sinkt, als in derselben Zeit ein nicht geworfener Körper abwärts sinken würde. Fällt aber der letzte in der ersten Secunde von A bis 1, so ist er nach der zweiten Secunde viermal so weit, bis 4, nach der dritten

neunmal so weit, bis 9 gesunken. Zieht man durch diese Puncte 1, 4, 9 Horizontallinien, so muß zu den genannten Zeiten der geworfene Körper durch diese gehen, und also der Reihe nach in a, b, c seyn; womit sich seine Bahn A a b c ergibt, welche wir an dem Strahle eines laufenden Brunnens zu sehen gewohnt sind.

Wird ein Körper schief aufwärts geworfen, so gelangt man auf gleiche Weise zur Bestimmung der Bahn, wie dieß aus der hierstehenden Zeichnung sich ergibt.

Die krumme Linie, welche der Körper durchläuft, heißt in der Geometrie eine Parabel.

Fig. 14.



Die Kraft, mit welcher der Körper hinausgeworfen wird, bestimmt die Geschwindigkeit, mit welcher er von A aus geht; von ihr hängt zum Theil sowohl die Höhe CD ab, auf welche der Körper steigt, als auch die Wurfweite AB, aber beides hängt nicht allein von der Größe der Kraft, sondern auch von der Richtung ab, in welcher der Körper geworfen wird. Die größte Höhe wird man erreichen, wenn man vertical aufwärts wirft, die Wurfweite aber ist dann Null; der Körper müßte wieder an demselben Orte niederfallen, an dem er aufwärts geworfen wurde; daß dieß beim wirklichen Versuch fast niemals geschehen wird, hat seine leicht zu findenden Ursachen. Wie die Wurfweiten von der anfänglichen Richtung abhängen, zeigt die folgende Figur, in welcher die

Fig. 15.



Bahnen für verschiedene Anfangsrichtungen und dieselbe Anfangsgeschwindigkeit, also dieselbe Wurfkraft gezeichnet sind. Am weitesten

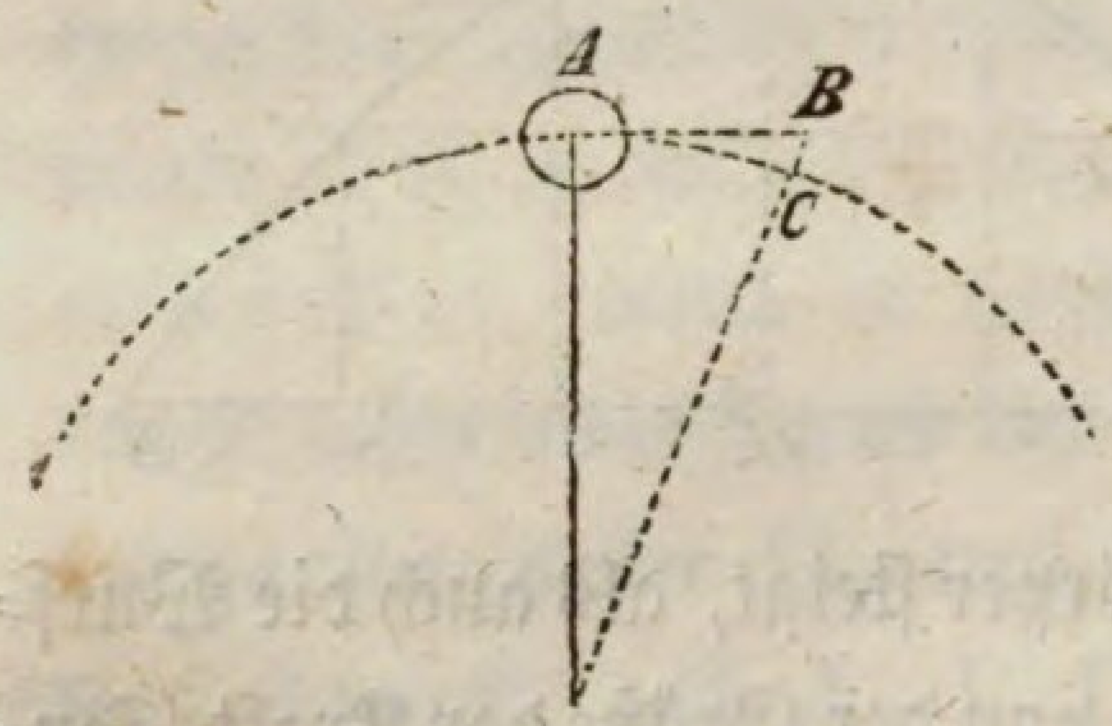
geht der Körper, wenn er unter einem halben rechten Winkel gegen den Horizont in die Höhe geworfen wird.

Auf ähnliche Weise, wie wir dieß hier gethan haben, betrachten die Mathematiker alle krummlinigen Bewegungen, indem sie diese aus mehreren geradlinigen zusammensetzen.

30. Die zusammengesetzte Bewegung führt auch zur Betrachtung der sogenannten Centrifugalkraft, d. h. zu deutsch einer Kraft, welche den Mittelpunct flieht.

Wird ein Stein an eine Schnur gebunden, und diese schnell im Kreise herumgedreht, so spannt bei gehöriger Schnelligkeit der Drehung der Stein die Schnur, wie Jedermann bekannt ist. Die Erklärung hiervon ist sehr einfach. Kommt der Stein durch A nach C, so will er nach dem Beharrungsgesetze in A geradlinig in seiner Richtung, d. h. nach B hin fortgehen und würde dahin gehen, wenn man die Schnur plötzlich durchschnitte; die Schnur selbst aber läßt diese Bewegung nicht zu, sie zieht ihn nach C herein; es wird also durch dieses Bestreben des Steins, in seiner Richtung fortzugehen, die Schnur gespannt, nach außen gezogen werden, und die Kraft, mit der dieß geschieht, nennt man die Centrifugalkraft des Steins. Eine solche wird immer vorkommen, wo ein Körper in einer krummlinigen Bahn sich bewegen muß; sie ist eine Folge der Trägheit der Materie, oder eigentlich nichts anderes als diese selbst.

Fig. 16.



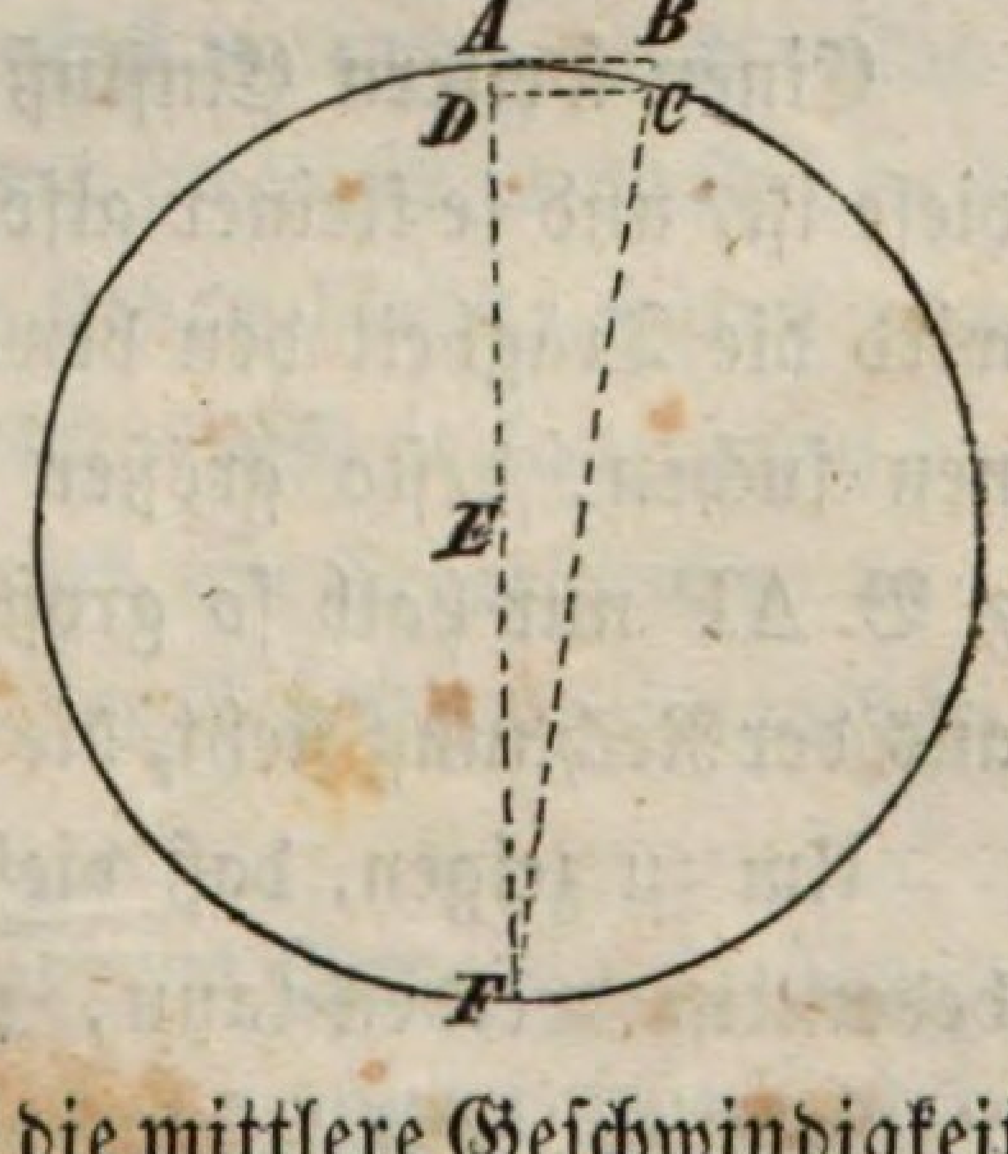
Die Erde dreht sich bekanntlich um ihre Axe; ist nun AC ein Stück z. B. des Aequators der Erde, so wird ein in A befindlicher Körper, der bisher festgehalten plötzlich losgelassen wird, vermöge der Trägheit nach B hin gehen, wenn ihn nicht die Schwere auf dem Boden festhält, ein Körper z. B., der in der Luft gerade noch schwebt, würde diese Bewegung annehmen; der in A befindliche Beobachter wird aber zu gleicher Zeit nach C kommen; es wird also jetzt noch jener Körper vertical über ihm stehen, und diesem Beobachter wird die Sache scheinen, als steige der betrachtete Körper vertical vor ihm

in die Höhe von C nach B, als sey er von einer Kraft ergriffen, welche ihn vom Mittelpuncte der Erde wegführe, der Centrifugalkraft, während ein außerhalb der Erde gedachter Beobachter den Körper nur nach dem Beharrungsgesetz die gerade Linie AB durchlaufen sehen würde, zugleich aber den ersten Beobachter den Weg AC.

Man sieht hieraus, wie die Centrifugalkraft, von der alle Körper auf der Erdoberfläche ergriffen werden, eine Schwächung der Anziehungskraft der Erde zur Folge hat; diese ist übrigens nur unbedeutend und beträgt unter dem Aequator, wo sie am stärksten ist, nur $1/_{200}$ der Schwere; an den Polen ist eine Centrifugalkraft, wie man leicht einsieht, nicht vorhanden. Würde es einmal kommen, daß die Erde sich schneller drehte, so würde bei 17mal schnellerer Drehung, also wenn ein Tag nur noch $^{24}/_{17}$ oder $1^{7}/_{17}$ unserer jetzigen Stunden lang wäre, die Centrifugalkraft unter dem Aequator der Schwerkraft gleich werden, die Körper würden dort nicht mehr zu Boden fallen, sondern aufwärts fliegen; und bei uns in Deutschland würde man zwar noch am Boden haften, aber es wäre doch ein leichtes, etwa über den Rhein zu springen, was unsere Turner zur Zeit noch unterlassen. Dabei würden bei uns alle fallenden Körper bedeutend gegen Süden hin abweichen, was jetzt fast ganz unmerklich ist.

31. Es wird meine Leser interessiren, zu sehen, wie groß diese Centrifugalkraft ist, und wie man dieselbe berechnen kann. Ich will versuchen, eine solche Rechnung aufzustellen, wobei ich aber einige Kenntnisse der Geometrie voraussetzen muß.

Fig. 17.



Es werde z. B. eine 1 Pfd. schwere Kugel an einer Schnur von 5 Fuß Länge so schnell gedreht, daß die Kugel in jeder Secunde 2 Fuß weit kommt. Ist AC der Weg der Kugel in einer Secunde = 2′, so würde sie ohne die Schnur nach B kommen, und die Schnur muß in A einen solchen Zug einwärts auf die Kugel ausüben, daß diese in einer Secunde bis nach D käme, so daß AC die mittlere Geschwindigkeit

aus AB und AD wäre. Ebenso stark als die Schnur einwärts gehalten werden muß, zieht die Centrifugalkraft die Kugel nach außen, oder spannt die Schnur. Die Centrifugalkraft ist also so groß, daß sie die Kugel in einer Secunde durch den Weg AD führen könnte. Nach einem bekannten Satze der Geometrie ist aber AD : AC = AC : AF, wenn man die Sehne AC statt des Bogens AC nimmt, was um so mehr der Wahrheit sich nähert, je kleiner dieser Bogen ist. Aus dieser Proportion ergibt sich $AD = \frac{AC \times AC}{AF} = \frac{2 \times 2}{10} = \frac{4}{10}$ F. Die Schwere bewegt einen Körper in einer Secunde 16 Fuß weit; die Centrifugalkraft in unserm Beispiel nur 0,4 Fuß. Es ist also diese nur $\frac{0,4}{16} = \frac{1}{40}$ der Schwerkraft, oder da die Schwerkraft in diesem Körper die bewegende Kraft 1 Pfd. (sein Gewicht) hervorruft, so beträgt die Centrifugalkraft hier $\frac{1}{40}$ Pfd. Die Schnur ist also bei dieser Kreisbewegung durch die Centrifugalkraft ebenso gespannt, wie durch ein Gewicht $\frac{1}{40}$ Pfd.

Das ist sehr gering. Lassen wir aber nun die Geschwindigkeit zweimal so groß werden, so wird AC = 4 Fuß, und die Centrifugalkraft schon $\frac{1}{10}$ Pfd., viermal so groß wie vorhin; ebenso wächst die Centrifugalkraft auf das Neunfache, wenn die Geschwindigkeit dreimal größer wird u. s. f. Daß dieß sehr schnell wächst, sieht man. Wird z. B. in unserm Beispiel die Geschwindigkeit 20 Fuß statt 2 Fuß, so wird die Centrifugalkraft schon das hundertfache der früheren, oder $2\frac{1}{2}$ Pfd., und die Schnur muß $2\frac{1}{2}$ Pfd. tragen können, oder sie wird bei dieser schnellen Umdrehung zerreißen.

Einen weitern Einfluß hat die Größe der Krümmung; je größer diese ist, und je kleiner also der Krümmungshalbmesser ist, desto mehr wird die Trägheit den bewegten Körper aus seiner Bahn zu entfernen suchen, desto größer wird also die Centrifugalkraft seyn. Ist z. B. AF nur halb so groß als oben angenommen, so wird, wie man aus der Rechnung sieht, die Centrifugalkraft zweimal so groß als früher.

Um zu zeigen, daß diese Centrifugalkraft in manchen Fällen sehr bedeutend werden kann, will ich noch ein Beispiel hersetzen. Eine Locomotive, wie sie auf den Eisenbahnen gebraucht werden, wiegt

gefüllt mit Wasser ungefähr 360 Centner; sie bewege sich mit 40 Fuß Geschwindigkeit in einem Bogen, der einen Halbmesser von 100 Fuß hat. Ganz auf dieselbe Weise wie oben berechnet findet man die Centrifugalkraft gleich 180 Centner, und diese Kraft würde unbezweifelt die Locomotive über die Bahn hinauswerfen, weßhalb man bei Eisenbahnen keine so starken Krümmungen anwenden kann, langsamer in den Krümmungen fahren muß und endlich bei Krümmungen die äußere Schiene höher legt als die innere, um so der nach außen drückenden Centrifugalkraft entgegen zu wirken.

Nach diesen Berechnungen wird Niemand die oft großartigen Wirkungen der Centrifugalkraft mehr unbegreiflich finden. So erzählt man, wie Mühlsteine bei sehr schnellem Umlaufen zerrissen und die Stücke weit in der Mühle umher geschleudert wurden, wobei freilich wohl immer auch Feuchtigkeit des Steines, die Dampf in demselben beim Erhitzen des Steines gab, mitgewirkt haben mag.

§. 4. Bewegung eines Körpers von bestimmter Form; Bewegung mehrerer Körper.

32. Bisher haben wir uns mit der Bewegung der Körper beschäftigt, ohne die Form des Körpers weiter zu betrachten; wir haben immer angenommen, alle Puncte des Körpers bewegten sich in gleicher Weise, so daß wir nur die Bewegung eines einzigen Punctes zu bestimmen hatten. Im Folgenden soll nun einiges über die Bewegung der Körper mit Rücksicht auf die Bewegungen der einzelnen Theile gesagt werden.

33. Hierbei kommt nun zuerst der Schwerpunct der Körper in Betracht. So nennt man den Punct eines schweren Körpers, an welchem er, aufgehängt, in jeder Lage stehen bleibt. Hängt man einen Körper an einem Faden auf, so dreht er sich so lange, bis die Gewichte rechts und links vom Faden keins ein Uebergewicht über das andere hat; in dieser Lage liegt dann der Schwerpunct des Körpers in der Verlängerung jenes Fadens.

Wird derselbe Körper noch an einem andern Puncte aufgehängt, so wird er sich wieder so stellen, daß sein Schwerpunct in die Ver-

längerung des Fadens fällt. Hat man die Richtung des Fadens bei dem ersten Aufhängen an dem Körper bezeichnet, so wird jene Richtung von der jetzigen Richtung des Fadens an einem Puncte durchschnitten werden, und dieser Punct ist eben der Schwerpunct.

Wird dieser Körper nunmehr in irgend einem dritten Puncte aufgehängt, so dreht er sich immer so lange, bis dieser Schwerpunct in die Verlängerung des Fadens oder vertical unter den Aufhängepunct zu stehen kommt.

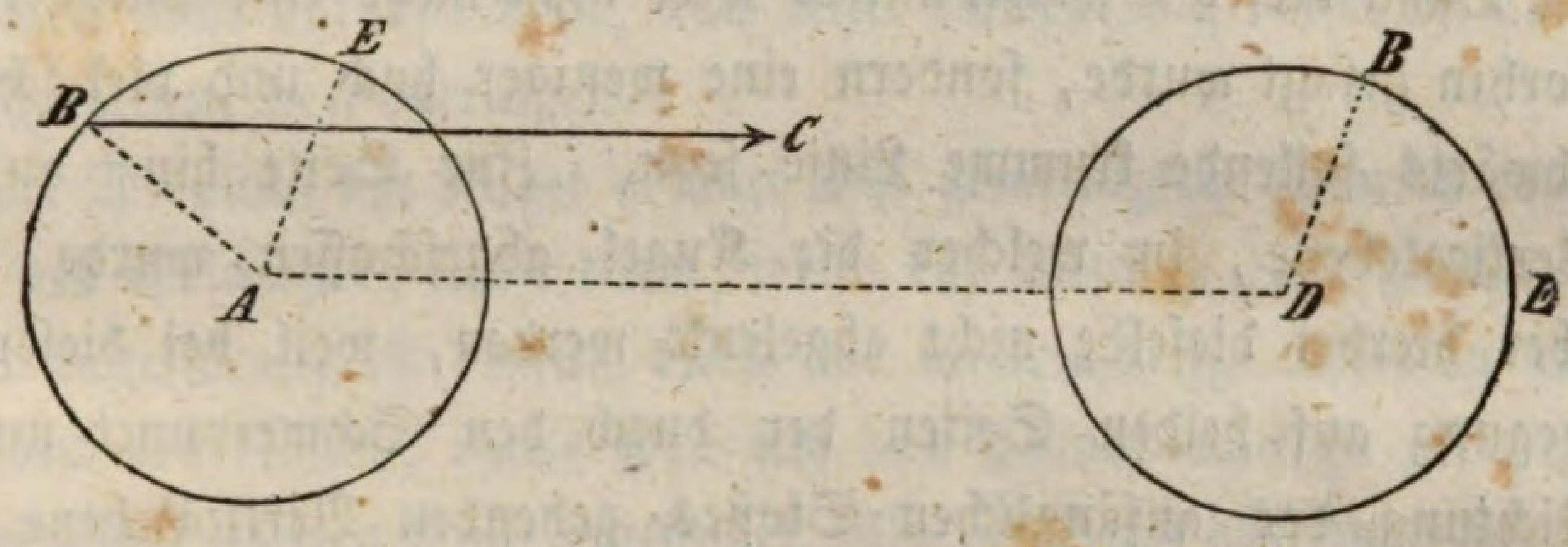
34. Jedes kleinste Theilchen eines schweren Körpers ist selbst schwer; jedes wird also von einer Kraft, seinem Gewichte, gegen die Erde hingezogen. Die Summe aller dieser Gewichte, die Resultirende derselben, ist das Gewicht des ganzen Körpers, und der Punct, in dem wir uns diese Resultirende wirksam denken müssen, ist der Schwerpunct. Es geht aber hieraus hervor, daß der Schwerpunct noch eine weitere Bedeutung haben muß. Wird jedes Theilchen auf gleiche Weise wie von der Schwerkraft jetzt von einer andern Kraft angegriffen, und sind diese Kräfte auf gleiche Weise wie die Schwerkräfte über den ganzen Körper vertheilt, so wird auch die Mittlere oder Resultirende dieser Kräfte durch den Schwerpunct gehen müssen.

Die Schwerkräfte, welche die einzelnen Theile des Körpers abwärts ziehen, gehen alle vertical abwärts, sie sind also parallel unter sich; sie sind ferner für gleich große Massentheilchen des Körpers gleich groß, was nichts anderes heißt, als unter gleich großen Massentheilchen verstehen wir gleiche Gewichtstheile desselben. Haben wir also irgend andere Kräfte so über alle Theile eines Körpers vertheilt, daß diese Kräfte in ihren Richtungen parallel sind, und daß auf gleich große Massentheilchen auch gleich große Kräfte kommen, so ist die Mittlere oder Resultirende dieser Kräfte die Summe derselben, und ihr Angriffspunct der Schwerpunct des Körpers. Man sieht also, daß dieser Schwerpunct auch dort in Betracht kommen kann, wo von Schwere gar nicht mehr die Rede ist. Man nennt deßhalb den Schwerpunct auch den Mittelpunct der parallelen Kräfte.

Nach diesem wird man das folgende Gesetz, welches die Mathe-

matiker aufgefunden haben, wenigstens begreiflich finden. Dieses Gesetz sagt: **Wirken auf einen Körper Kräfte ein, so bewegt sich der Schwerpunct dieses Körpers, als ob jene Kräfte parallel zu sich selbst durch den Schwerpunct gingen, und zugleich dreht sich der Körper um diesen Schwerpunct, gerade so als würde dieser Schwerpunct festgehalten.** Wird z. B. einer Kugel ein Stoß gegeben, durch wel-

Fig. 18.



chen der Punct B in der Richtung BC fortgetrieben wird, so wird sich der Schwerpunct (bei einer homogenen Kugel der Mittelpunct) so bewegen, als wäre der Stoß parallel mit seiner Richtung, also wie AD, durch diesen Schwerpunct gekommen. Zugleich aber wird die Kugel sich um diesen Schwerpunct drehen, als ob dieser festgehalten würde. Kommt z. B. die Kugel in 1 Secunde durch diesen Stoß von A nach D, und dreht sich die in A festgehaltene Kugel durch einen gleichen Stoß so, daß in 1 Secunde B bis nach E kommt, so wird die Lage der freien Kugel nach einer Secunde durch den zweiten um D beschriebenen Kreis angegeben seyn.

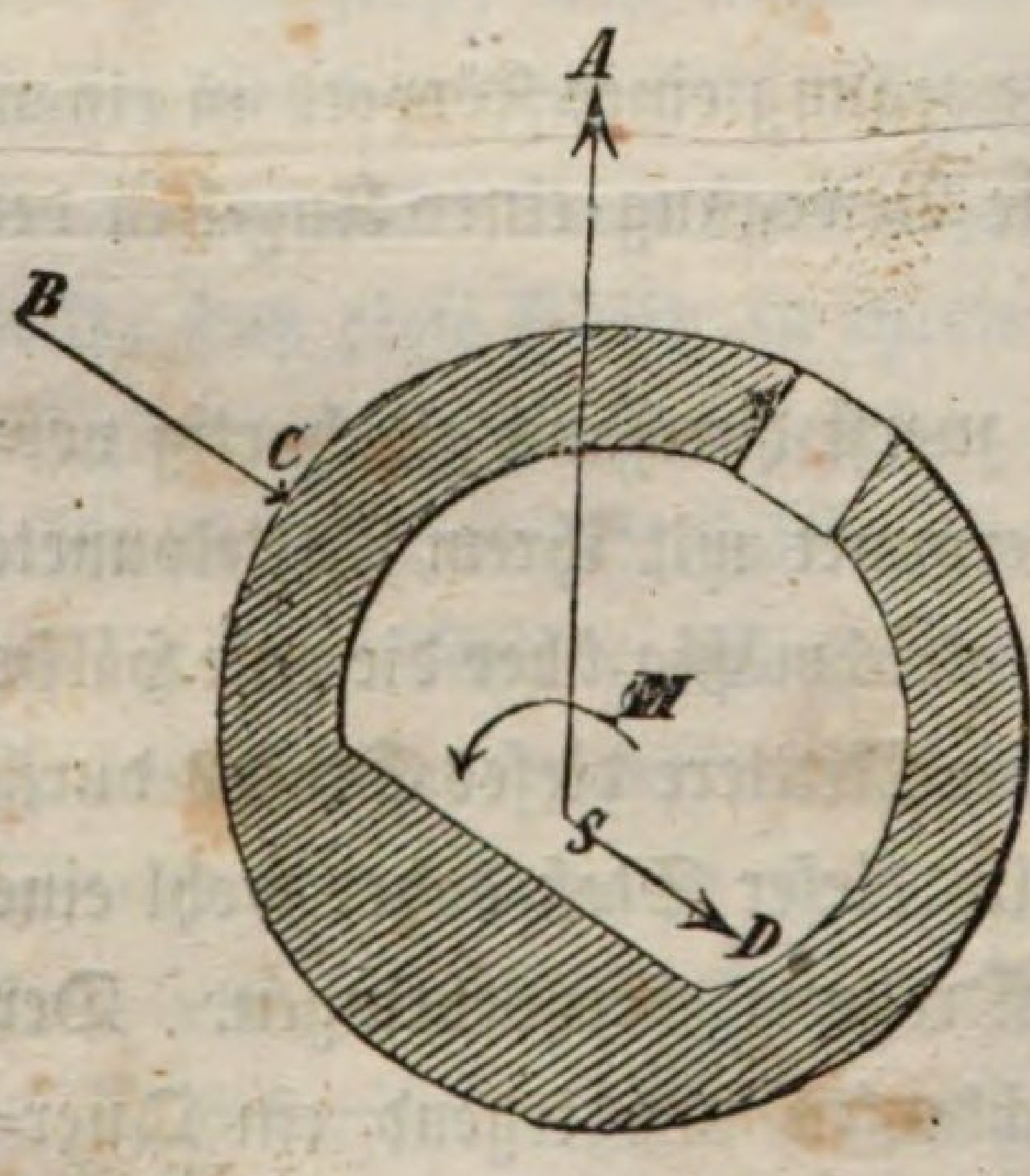
Wir wollen diese Sätze auf die Bewegung eines Körpers in einem widerstehenden Mittel, z. B. auf die Bewegung einer Kugel in der Luft anzuwenden suchen.

Wird eine solche Kugel, die wir zuerst durchaus gleichartig voraussetzen wollen, so daß ihr Schwerpunct mit ihrem Mittelpuncte zusammenfällt, durch einen Stoß, der gleichmäßig über die eine Hälfte verbreitet ist, fortgeworfen, so wird die Mittlere dieses Stoßes durch den Schwerpunct selbst gehen; es wird dieser Stoß daher wohl eine fortgehende Bewegung aber keine Drehung hervorbringen. Der Schwerpunct wird eine Parabel durchlaufen und irgend ein Quer-

schnitt der Kugel wird seiner ursprünglichen Lage parallel bleiben. Die Luft wird dieser Bewegung einen Widerstand entgegensetzen, dieser Widerstand wird über die eine Hälfte der Kugel gleichmäßig verbreitet seyn, und die daraus resultirende Kraft also durch den Mittelpunct der Kugel, den Schwerpunct, gehen; dieser Widerstand der Luft wird daher keine Drehung hervorbringen können; er wird aber die fortgehende Bewegung, die Bewegung des Schwerpunctes abändern; die Bahn dieses Schwerpunctes wird nicht mehr eine Parabel, wie vorhin gesagt wurde, sondern eine weniger hoch und viel schneller abwärts fallende krumme Linie seyn. Zur Seite hin, aus der Verticalebene, in welcher die Kugel abgeschossen wurde, kann aber hierbei dieselbe nicht abgelenkt werden, weil bei dieser Bewegung auf beiden Seiten der durch den Schwerpunct und die Richtung des anfänglichen Stoßes gehenden Verticalebene alles gleich ist.

Ist die Kugel nicht völlig rund, oder hat sie nicht durchaus dieselbe Dichte, so daß der Schwerpunct seitwärts von dem Mittelpunct der Kugel liegt, so wird der Widerstand der Luft immer durch diesen Mittelpunct der Kugel gerichtet seyn; er wird also wie vorhin die Bewegung des Schwerpuncts hemmen und abändern wie vorhin, wird aber zugleich eine Rotation um diesen Schwerpunct hervorrufen. Diese anfängliche Rotation wird aber dem Widerstande der Luft selbst eine andere Richtung geben, da er immer der Bewegung direct entgegenwirkt.

Fig. 19.

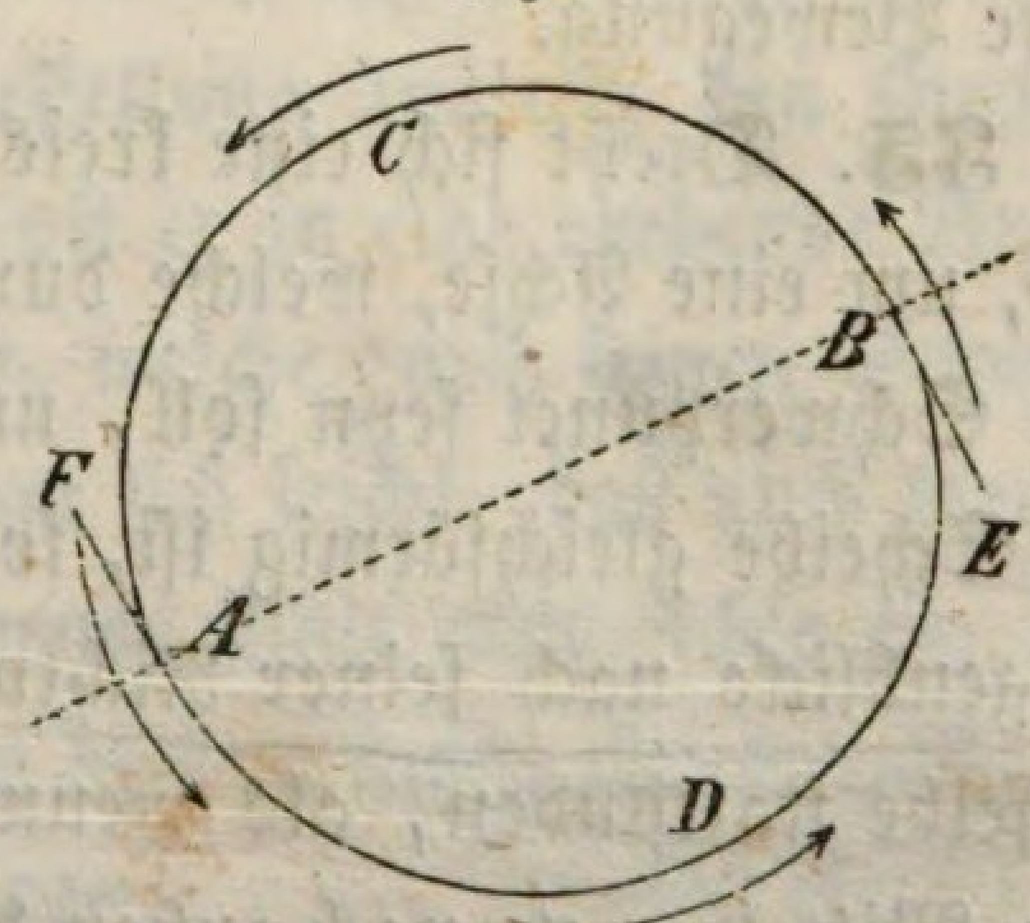


Die ganze Kugel hat die Bewegung SA gemeinschaftlich mit dem Schwerpuncte, und dreht sich zugleich um diesen. Durch die erste Bewegung entsteht ein Druck der Luft in der Richtung AS, durch die zweite in der Richtung BC, welche letztere der drehenden Bewegung entgegenstrebt, zugleich aber auch den Schwerpunct aus seiner bisherigen Richtung seit-

wärts forttreibt, wie SD. Es wird also bei dieser Lage des Schwerpuncts ein Abweichen der Kugel aus der Verticalebene, in der sie abgeschossen wurde, nothwendig eintreten müssen, was man bei Bomben z. B. schon so häufig beobachtet hat. Man kann diesen Fehler des Schusses theilweise dadurch umgehen, daß man den Schwerpunct und den Mittelpunct in die Richtung des Schusses zu bringen sucht. Der Widerstand der Luft kann dann keine Drehung der Kugel, und wenn diese nicht vorhanden ist, auch keine Abweichung derselben aus der Schußebene hervorbringen.

Eine Drehung der Kugel erfolgt aber gemeiniglich schon in dem Rohre des Geschützes, selbst dann, wenn das Geschoß ganz gleichartig und kugelförmig ist, theils durch die ungleichartige Reibung an der Wand des Rohrs, theils weil sich das Pulver nicht zu gleicher Zeit in seiner ganzen Masse entzündet, also der Stoß auf einer Seite früher erfolgt, als auf der andern. Eine Drehung kann aber selbst bei der vollkommensten Kugel eine Abweichung aus der Schußebene zur Folge haben. Es stelle z. B. die nebenstehende Figur eine solche Kugel vor, welche in der Richtung AB fortgeht, und sich zugleich dreht, wie dieß die Pfeile anzeigen. Aus der Adhäsion an die Luft, oder, wenn man will, der Reibung an dieser, entstehen Kräfte, welche diese Drehung verzögern. Diese verzögernde Kraft wird um so größer seyn, je dichter die Luft ist. Vor der Kugel, gegen B hin, wird die Luft verdichtet, bei A verdünnt seyn; es wird also die Kraft, welche bei B wie BE wirkt, größer seyn, als die AF. Beide Kräfte ändern aber neben der drehenden Bewegung nach dem Gesetze im Anfange dieser Nummer zugleich die fortgehende Bewegung gerade so, als wirkten sie parallel zu sich auf den Schwerpunct übergetragen. Dort wird BE das Uebergewicht über AF haben; die Kugel wird also nach der Seite von E hin aus ihrer Bahn abweichen. Ist ADBC ein horizontaler Querschnitt der Kugel, dreht sich die Kugel also um eine verticale Achse,

Fig. 20.

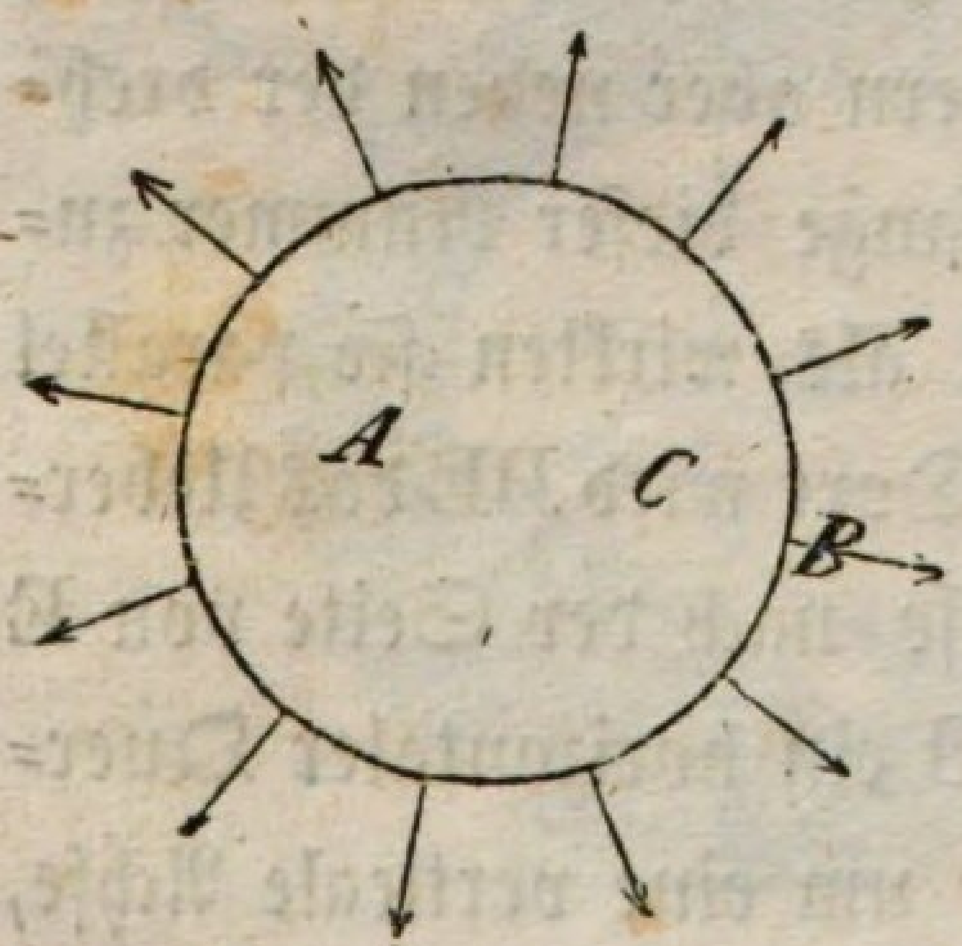


so wird die Kugel somit aus ihrer verticalen Schußebene zur Seite abweichen. Ist aber ADBC ein verticaler Querschnitt der Kugel, dreht sich also die Kugel um eine horizontale Achse, so wird BE in der Verticalebene des Schusses selbst liegen, und also keine Abweichung aus dieser Ebene veranlassen, wohl aber, wenn die Kugel rotirt, wie die Pfeile zeigen, die Kugel schneller zum Fallen bringen, also die Schußweite vermindern, während bei der gerade entgegengesetzten Drehung, der vordere Theil abwärts, die Adhäsion der Luft die Kugel aufwärts treibt, also die Schußweite verlängert, ja möglicher Weise sogar ein Aufwärtssteigen einer horizontal geschossenen Kugel veranlassen könnte.

Alle diese Einflüsse der Luft auf die Bahn der Kugel hören auf, wenn die Kugel um die Achse AB sich dreht, in deren Richtung sie fortgeht; dort sind immer die Eindrücke rechts und links von dieser Achse gleich und können also auf die Richtigkeit des Schusses, und auf die bald größere, bald kleinere Tragweite des Geschützes keinen Einfluß haben. Die gezogenen Büchsen geben bekanntlich den Kugeln diese Bewegung.

35. Dreht sich eine kreisförmige Scheibe, z. B. ein Schwungrad, um eine Achse, welche durch ihren Mittelpunct geht, der zugleich der Schwerpunct seyn soll, und das seyn wird, wenn rings um ihn die Scheibe gleichförmig ist, so wird jeder Punct der Scheibe in jedem Augenblicke nach seiner Richtung fortzugehen suchen, oder es wird dasselbe stattfinden, als wenn bei ruhiger Scheibe auf jeden Punct vom Mittelpuncte nach außen die Centrifugalkraft einwirkte. Da diese Centrifugalkräfte rings um den Schwerpunct gleich vertheilt sind, so werden sie zwar suchen, die Scheibe auseinander zu reißen; ihre Wirkung auf die Achse A aber wird sich gegenseitig aufheben, und diese würde, wenn nicht die Scheibe zugleich schwer wäre, keines Festhaltens bedürfen; jedenfalls wird sie hier nur einer Unterstützung bedürfen, nach der

Fig. 21.



Seite oder nach oben wird durch die drehende Bewegung kein Druck erfolgen.

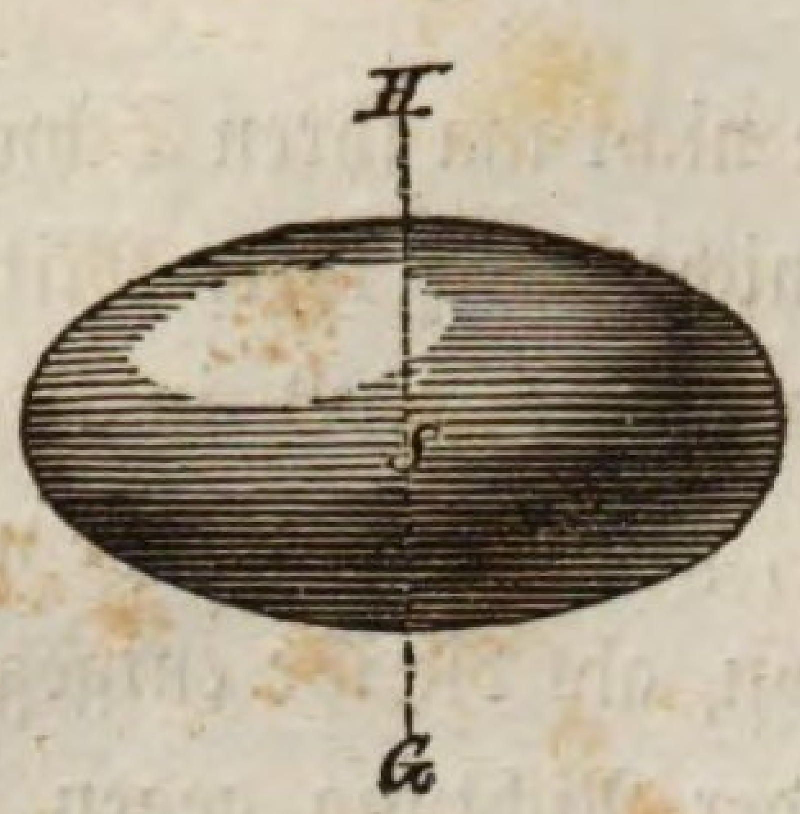
Anders ist es aber, wenn sich die Scheibe nicht um ihren Schwerpunct dreht; wenn die Drehachse entweder nicht durch ihren Mittelpunct geht, oder wenn der Schwerpunct durch eine, z. B. in B angebrachte Masse auf die Seite, etwa nach C, gebracht ist; jetzt wird die Centrifugalkraft von C nach B größer seyn, als die ihr entgegengesetzte; es wird also die Achse selbst in der Richtung gegen den Schwerpunct hin fortgezogen werden; jetzt wird man daher nicht mehr mit einer bloßen Unterstützung der Achse sich begnügen dürfen, man wird diese vielmehr nach jeder Richtung hin in ihrer Lage festhalten müssen, was gewöhnlich durch ein breiteres und wohl verankertes Zapfenlager mit einem auf dem Lager festgeschraubten Deckel geschieht. Bei schnellen Umdrehungen ist die Centrifugalkraft, wie wir gesehen haben, von Bedeutung, ein solches Hin- und Herreißen der Achse aber jedenfalls der Dauer der Maschine sehr nachtheilig; man wird daher bei schnellen Umdrehungen immer suchen müssen, den Schwerpunct des umlaufenden Körpers in die Drehachse zu bringen.

36. Man sieht aus dieser Darstellung zugleich den Grund, warum ein völlig freier Körper sich, so oft er in eine drehende Bewegung gesetzt wird, um eine Achse dreht, welche durch seinen Schwerpunct geht, und zugleich überzeugt man sich leicht, daß auch hierbei nicht jede durch den Schwerpunct gehende Linie eine Achse ist, um welche sich der Körper längere Zeit frei drehen kann. Wird z. B. ein Körper von einem Querschnitte, wie in nebenstehender Figur angedeutet ist, um eine Achse AB gedreht, so wird die Centrifugalkraft den oberhalb CD liegenden Theil links, den unter EF liegenden Theil rechts ziehen; der Körper wird also eine Drehung um seinen Schwerpunct S annehmen, bis er endlich die Lage in Fig. 23. hat, wo er sich um GH dreht, wobei auf allen Seiten die Centrifugalkraft gleich ist. Eine solche Achse,

Fig. 22.



Fig. 23.



um welche die Drehung frei und andauernd geschehen kann, nennt man in der Mechanik eine Hauptachse, und es wird bei tiefergehendem Studium erkannt, daß jeder Körper wenigstens drei durch den Schwerpunct gehende Hauptachsen hat, oder daß jeder Körper die Drehung um drei durch seinen Schwerpunct gehende Linien erhalten wird.

Der in Nro. 34. aufgestellte Satz läßt sich nun durch folgenden Zusatz ergänzen: Hat ein völlig freier Körper durch irgend welche Kräfte eine Drehung um seinen Schwerpunct erlangt, so wird die Drehungsachse so lange sich ändern, bis der Körper um eine seiner Hauptachsen sich dreht, und in dieser Drehung wird derselbe dann beharren.

37. Begegnen sich zwei Körper, welche in Richtung oder Geschwindigkeit der Bewegung verschieden sind, stoßen also diese Körper auf einander, so theilen sie sich gegenseitig einen Theil ihrer Bewegungen mit. Wir wollen versuchen, zu bestimmen, wie weit sich diese Bewegungsmittheilung erstreckt, wobei wir der Einfachheit wegen annehmen, daß die beiden stoßenden Körper sich in einer geraden Linie bewegen.

Trifft nun z. B. ein Körper von 8 Pfd. Gewicht, der sich mit der Geschwindigkeit 10 Fuß bewegt, auf einen zweiten Körper von 2 Pfd. Gewicht, welcher sich in derselben Richtung mit z. B. 5 Fuß Geschwindigkeit bewegt, so wird der erste den zweiten vor sich herdrücken, also die Geschwindigkeit des zweiten vermehren, während dieser selbst den ersten Körper aufhält, zurückdrückt, und die Geschwindigkeit des ersten vermindert; und dieß wird so lange dauern, bis beide Körper dieselbe Geschwindigkeit haben, wo kein Druck mehr stattfindet. Der Druck des ersten Körpers vorwärts kann hier nur so groß seyn, als dieser selbst den ersten Körper aufhält, der Druck und Gegendruck sind gleich groß, und beide dauern auch gleich lange. Um also den Erfolg zu beurtheilen, haben wir zuerst zu untersuchen,

welche Wirkung zwei gleiche Kräfte in derselben Zeit auf verschiedene Massen hervorbringen.

Wir haben oben gesehen, daß eine Kraft in einer bestimmten Zeit eine Geschwindigkeit mittheilt, welche in demselben Maaße wächst, in dem die Kraft wächst, daß aber die Geschwindigkeit in demselben Maaße bei derselben Kraft abnimmt, je größer die Masse ist, auf welche diese Kraft einwirkt. Wird z. B. bei derselben Kraft die Geschwindigkeit für die Masse 1 Pfd. gleich 20 Fuß, so erhält die Masse 2 Pfd. nur die Geschwindigkeit 10 Fuß, die Masse 4 Pfd. durch diese Kraft in derselben Zeit nur die Geschwindigkeit $\frac{20}{4} = 5$ Fuß u. s. f., und man sieht, daß, wenn ein und dieselbe Kraft während derselben Zeit auf verschiedene Massen einwirkt, die Zahl, welche man durch Multiplication aus der Zahl der Pfunde in die erlangte Geschwindigkeit erhält, das Product aus der Masse in die Geschwindigkeit, wie die Mathematiker sagen, stets dieselbe bleibt.

Dieses Product heißt in der Mechanik auch die Größe der Bewegung, und der eben aufgestellte Satz läßt sich mit dieser Benennung kurz so aussprechen: Gleiche Kräfte ertheilen verschiedenen Körpern in derselben Zeit gleiche Größe der Bewegung.

Hätte der eine Körper, z. B. von 4 Pfd., schon anfänglich die Geschwindigkeit 3 Fuß, und erhält nun durch die Einwirkung einer Kraft die Geschwindigkeit 5 Fuß, so ist, wie sich von selbst versteht, die Größe der Bewegung, welche der Körper ursprünglich hatte, $4 \times 3 = 12$; die Größe der Bewegung, welche ihm die Kraft dazu noch gab, gleich $4 \times 2 = 8$, und die Größe der Bewegung, welche der Körper zuletzt hat, $4 \times 5 = 20 = 12 + 8$.

Wirkt, wie dieß beim Stoße immer vorkommt, die eine Kraft der Bewegung entgegen, so wird sie die bestehende Bewegung vermindern, und wird dem Körper, auf den sie einwirkt, in einer bestimmten Zeit dieselbe Größe der Bewegung nehmen, welche sie einem andern Körper in derselben Zeit zu geben vermag.

38. Nach diesen vorläufigen Bemerkungen kehren wir nunmehr wieder zu der Betrachtung des Stoßes zweier Körper zurück. Wir wissen jetzt, daß während des Stoßes der erste Körper den zweiten so stark vorwärts drückt, als dieser den ersten zurückhält, daß also dieselbe Kraft den zweiten während der Dauer des Stoßes vorwärts treibt, welche den ersten zurückhält, daß also die Größe der Bewegung, welche während des Stoßes der zweite Körper erhält, der gleich seyn muß, welchen der erste verliert.

In dem oben angenommenen Beispiele, worin ein Körper von 8 Pfd. Gewicht und 10 Fuß Geschwindigkeit einen zweiten in gleicher Richtung gehenden von 2 Pfd. Gewicht und 5 Fuß Geschwindigkeit trifft, wird während des Stoßes die Geschwindigkeit des ersten um 1 Fuß, auf 9 Fuß abnehmen, dagegen die des zweiten von 5 Fuß bis eben dahin um 4 Fuß wachsen. Die Größe der Bewegung, welche der 8pfündige Körper hierbei verloren hat, ist $8 \times 1 = 8$; die Größe der Bewegung, welche der zweite Körper gewonnen hat, ist $2 \times 4 = 8$, wie die vom ersten abgegebene.

Bewegt sich der zweite Körper dem ersten entgegen, so wird der erste zuerst die ganze Bewegung des zweiten beim Stoße aufheben, und ihm dann erst noch eine Geschwindigkeit ertheilen müssen, welche der ihm bleibenden gleich ist. Behalten wir die obigen Massen und Anfangsgeschwindigkeiten bei, so findet man leicht, daß jetzt die Endgeschwindigkeit, mit der nach dem Stoße beide Körper in der ursprünglichen Richtung des ersten, der die bedeutendere Größe der Bewegung vor dem Stoße hat, fortgehen, 7 Fuß seyn muß, denn damit wird die vom ersten Körper verlorne Größe der Bewegung der von dem zweiten Körper aufgenommenen gleich. Der erste Körper von 8 Pfd. Gewicht verliert nämlich 3 Fuß Geschwindigkeit (von 10 auf 7 Fuß), also die Größe der Bewegung $8 \times 3 = 24$. Hierdurch wird zuerst die ganze Bewegung des zweiten Körpers aufgehoben, deren Größe bei 2 Pfd. Gewicht und 5 Fuß Geschwindigkeit $2 \times 5 = 10$ ist; dann muß diesem Körper in der, seiner früheren entgegengesetzten Richtung noch die Geschwindigkeit 7 Fuß ertheilt

werden, oder es muß auf ihn die Größe der Bewegung $2 \times 7 = 14$ übertragen werden. Beide Zahlen zusammen $10 + 14$ geben dann wieder die Größe der Bewegung, wie sie vom ersten Körper beim Stoße verloren wurde.

Um allgemein die Geschwindigkeit zu finden, welche beide Körper nach dem Stoße haben, hat man, wenn beide Körper sich nach einer Richtung bewegen, die Größen der Bewegungen für beide zusammen zu zählen, und die Summe durch die Summe beider Massen zu theilen; bewegen sich aber die zwei Körper vor dem Stoße nach entgegengesetzten Richtungen, so wird die kleinere Größe der Bewegung von der größeren abgezogen, und der Rest durch die Summe beider Massen getheilt.

Auf die zwei oben angegebenen Beispiele angewandt, gibt dieß die Geschwindigkeiten

im 1sten Beispiel $\frac{8 \times 10 + 2 \times 5}{8 + 2.} = \frac{80 + 10}{10} = \frac{90}{10} = 9$ Fuß.

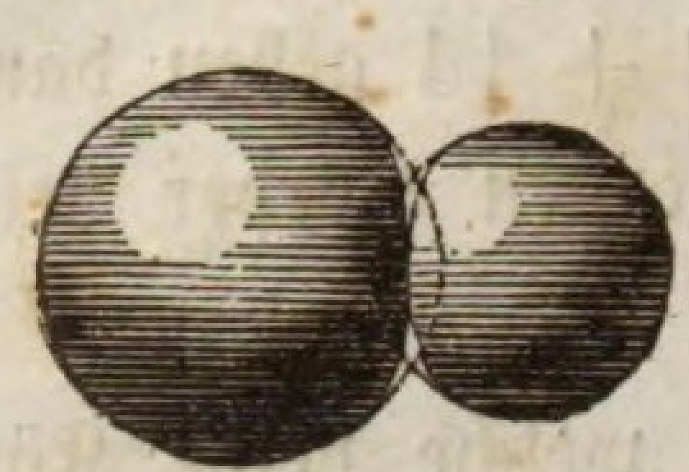
im 2ten Beispiel $\frac{8 \times 10 - 2 \times 5}{8 + 2} = \frac{80 - 10}{10} = \frac{70}{10} = 7$ Fuß.

Ist der eine Körper in Ruhe, so ist seine Größe der Bewegung gleich Null, und also beim Addiren oder Subtrahiren nicht zu beachten.

39. Während des Stoßes werden sich die beiden Körper nothwendig gegenseitig zusammendrücken. Sind nun beide w e i ch oder bildsam, d. h. lassen sich beide in beliebige Formen bringen, und bleiben beide, nachdem der formende Druck aufgehört hat, in diesen, so hat auch der Stoß ein Ende, sobald beide Körper mit derselben Geschwindigkeit hintereinander fortgehen. Das wird etwa der Fall seyn, wenn zwei Kugeln von weichem Thon auf einander treffen.

Die meisten Körper sind aber so geeigenschaftet, daß ein auf sie ausgeübter Druck zwar eine Formänderung in ihnen hervorbringt, daß sie aber ihre natürliche Form wieder annehmen, sobald der Druck aufhört, sie sind e l a st i s ch. Im Falle die stoßenden Körper elastisch sind, kann offenbar der Stoß sein Ende noch nicht erreicht haben, wenn beide Körper sich gegenseitig zusammengedrückt haben, und nun mit gleicher Geschwindigkeit hintereinander fortgehen. In jedem der Kör-

Fig. 24.



per wird das Bestreben liegen, seine frühere Form wieder anzunehmen, der eingedrückte Theil wird nach außen streben, und dadurch den drückenden Körper zurückstoßen, also dem einen Geschwindigkeit nehmen, während dem andern gegeben wird.

Dieser gegenseitige Druck wird wieder auf einen wie auf den andern Körper gleich stark seyn, es wird die Kraft, mit der sich beide Körper ausdehnen, genau so groß seyn, als die Kraft, welche sie zusammendrückte; es wird überhaupt die Ausdehnung wieder ganz in derselben Weise erfolgen, wie früher die Zusammenpressung; es werden also auch dieselben Größen der Bewegung nochmals entrissen und gegeben werden. In dem ersten Beispiele der vorhergehenden Nummer wird daher dem ersten 8pfündigen Körper, welcher schon in der ersten Periode des Stoßes die Bewegungsgröße 8 verlor, durch die Ausdehnung des vor ihm laufenden 2pfündigen Körpers nochmals die Bewegungsgröße 8 entzogen, oder seine Geschwindigkeit wird nochmals um 1 Fuß abnehmen oder 8 Fuß werden, wogegen ebenso durch die Ausdehnung des ersten Körpers der zweite fortgedrückt und ihm abermals die Geschwindigkeit 4 Fuß neu mitgetheilt wird, so daß seine Geschwindigkeit jetzt von 9 auf 13 Fuß steigt.

Haben die beiden einander stoßenden elastischen Körper gleiche Massen, sind beide also von gleichem Gewichte, so sind die Erscheinungen sehr einfach; die beiden Körper verwechseln dabei nur die Geschwindigkeiten. Gehen z. B. beide Körper in derselben Richtung fort, der eine mit 8 Fuß Geschwindigkeit, der andere mit 2 Fuß, so wird der erste Körper so lange auf den zweiten drücken, bis beide die Geschwindigkeit 5 Fuß haben, wo der erste 3 Fuß Geschwindigkeit verloren und der zweite so viel gewonnen hat; jetzt sind aber beide Körper noch zusammengedrückt, sie dehnen sich nun beide mit derselben Kraft aus, mit der sie sich zuvor gegenseitig zusammendrückten, und der zweite Körper hält daher den ersten noch weiter auf, bis dieser abermals 3 Fuß Geschwindigkeit abgegeben hat, also noch 2 Fuß Geschwindigkeit hat, während der zweite Körper zugleich durch die Ausdehnung des ersten

fortgetrieben wird, bis er noch 3 Fuß Geschwindigkeit gewonnen, also die Geschwindigkeit 8 Fuß hat. Beide Körper haben somit durch den Stoß nur ihre Geschwindigkeiten vertauscht.

Steht der eine der beiden gleichen Körper vor dem Stoße still, so wird nach dem Stoße dieser mit der Geschwindigkeit des stoßenden Körpers fortgehen, dagegen der stoßende Körper selbst still stehen. An Billardkugeln sehen wir ähnliches, wiewohl dort die Erscheinungen nicht ganz so ausfallen, weil die Kugeln zugleich rollen, wodurch Reibung während des Stoßes entsteht, welche jene Abweichungen hervorruft.

Stoßt ein elastischer Körper auf einen zweiten unbeweglichen, so wird zuerst seine ganze Bewegung dazu verwendet, ihn und den unbeweglichen Körper zusammenzudrücken, wobei der stoßende Körper seine ganze Geschwindigkeit verliert. Die nun erfolgende Ausdehnung der beiden Körper wird dann den stoßenden Körper zurückwerfen, und wird ihm eine Geschwindigkeit ertheilen, welche der gleich ist, durch die er die Zusammendrückung hervorbrachte; er wird mit derselben Geschwindigkeit zurückgehen, mit der er vor dem Stoße ankam. Läßt man z. B. eine Kugel von Elfenbein auf eine horizontale Platte fallen, so müßte die Kugel nach dem Stoße wieder zu der Höhe aufsteigen, von welcher man sie hat herunterfallen lassen. Dieß geschieht nicht vollständig, weil die Körper der Natur alle nicht vollständig elastisch sind, auch wegen des Widerstandes der Luft nicht.

40. Bei dem Stoße zweier Körper sind die Kräfte, welche von einem zum andern wirken, gleich groß und entgegengesetzt; sie heben sich also auf, sie können zusammengenommen keine Arbeit liefern, die lebendigen Kräfte beider Körper zusammen werden also nach dem Stoße noch dieselben seyn müssen, wie zuvor, wenn nicht durch diese lebendigen Kräfte während des Stoßes eine weitere Arbeit verrichtet wird.

In dem ersten Beispiele Nro. 39. haben wir zwei elastische Körper von 8 Pfd. und 2 Pfd. Gewicht betrachtet, welche vor dem Stoße die Geschwindigkeiten 10 Fuß und 5 Fuß hatten, und durch den Stoß die Geschwindigkeiten 8 und 13 Fuß erhielten. Die lebendigen Kräfte dieser Massen vor dem Stoße waren, berechnet wie in Nro. 23.

$\frac{8 \times 10 \times 10}{64} = \frac{800}{64}$ und $\frac{2 \times 5 \times 5}{64} = \frac{50}{64}$ also zusammen $\frac{850}{64}$;

nach dem Stoße sind die lebendigen Kräfte dieser Massen

$\frac{8 \times 8 \times 8}{64} = \frac{512}{64}$ und $\frac{2 \times 13 \times 13}{64} = \frac{338}{64}$ also zus. $\frac{850}{64}$ w. oben.

Beide Körper zusammen betrachtet haben also ihre lebendige Kraft bei dem Stoße erhalten; durch den Stoß selbst ist keine mechanische Arbeitsgröße verloren gegangen.

Anders ist es aber beim Stoße nicht elastischer Körper, welche nach dem Stoße eine veränderte Form behalten. Hier wird ein Theil der lebendigen Kräfte der stoßenden Körper zur Formveränderung verwendet, und diese Formveränderung ist die Arbeit jener beim Stoße verlorenen lebendigen Kraft.

In dem Beispiele der Nro. 38. stoßen zwei nicht elastische Körper von 8 Pfd. und 2 Pfd. mit 10 Fuß und 2 Fuß Geschwindigkeit auf einander, und gehen nach dem Stoße mit der gemeinschaftlichen Geschwindigkeit 9 Fuß fort. Die lebendigen Kräfte der beiden Massen vor dem Stoße sind wie vorhin

$\frac{8 \times 10 \times 10}{64} = \frac{800}{64}$ und $\frac{2 \times 5 \times 5}{64} = \frac{50}{64}$, zusammen $\frac{850}{64}$,

was die Arbeit ist, welche diese beiden Massen vermöge ihrer Geschwindigkeiten zu liefern vermögen. Nach dem Stoße haben wir die Masse 8 und 2 oder 10 Pfd. mit der Geschwindigkeit 9 Fuß, also die lebendige Kraft

$\frac{10 \times 9 \times 9}{64} = \frac{810}{64}$, und die lebendige Kraft $\frac{850 - 810}{64} = \frac{40}{64} = \frac{5}{8}$

ist verloren gegangen, oder vielmehr der Kraftaufwand $^5/_8$ Fußpfund ist zur Formänderung der stoßenden Körper vernützt worden, diese Formänderung erforderte die mechanische Arbeit $^5/_8$ Fußpfund.

Hört die Bewegung beim Stoße ganz auf, wie das z. B. beim Hämmern von Metallen wenigstens annähernd der Fall ist, so wird zur Formänderung die ganze lebendige Kraft des bewegten Hammers verwendet; je weniger unbeweglich aber die Unterlage, der Ambos, ist, desto mehr Bewegung wird auf diesen übertragen, desto mehr geht daher von der verwendeten Kraft für das Schmieden selbst verloren.

Zweites Buch.

Die einfachen Maschinen.

41. Haben wir in dem Vorhergehenden die Gesetze der Bewegung untersucht, so wollen wir hier die einfachsten Vorrichtungen betrachten, die bestimmt sind, eine hervorgebrachte Bewegung auf eine dem bestimmten Zwecke gemäße Weise abzuändern. Solche Vorrichtungen nennt man allgemein Maschinen.

Hat man z. B. Wasser, das aus einem Canale herabfällt, so kann man durch ein Rad, auf welches man dieses Wasser fallen läßt, so daß das Rad umgedreht wird, aus der ersten Bewegung die drehende des Rades hervorbringen; das Rad ist eine Maschine.

42. Die Maschinen sind immer aus todten Massen zusammengesetzt; diese können sich selbst nicht in Bewegung setzen, es müssen Kräfte von außen hinzutreten, um der Maschine Bewegung zu ertheilen; die Maschine, die todte Masse, kann für sich ebenso wenig Arbeit liefern; es ist die Kraft, welche die Maschine bewegt, welche arbeitet, und die Größe der Arbeit wird daher bei keiner Maschine über die Größe des Kraftaufwandes wachsen können. Wie wir oben gesehen haben, kann aber dieselbe Größe der Arbeit auf die verschiedenste Weise gewonnen werden, und die Wirkung der Maschine besteht nun darin, durch einen gegebenen Kraftaufwand eine Arbeit von bestimmter Art zu liefern, wobei die Größe der Arbeit dem gegebenen Kraftaufwande gleich seyn wird.

Bei dem Wasserrade, das wir beispielsweise am Ende der vorhergehenden Nummer anführten, mögen z. B. in jeder Secunde 20 Kubikfuß Wasser 8 Fuß tief herabfallen. Da 20 K.-F. Wasser $20 \times 54 = 1080$ Pfd. wiegen, so ist der Kraftaufwand in einer Secunde $1080 \times 8 = 8640$ Fußpfund, und diese Größe der Arbeit wird daher das Rad auch im höchsten Falle fortpflanzen können; d. h. es werden höchstens in einer Secunde 8640 Pfd. auf einen Fuß oder z. B. 864 Pfd. auf 10 Fuß u. s. w. erhoben werden können. Das Wasserrad aber leistet diese Arbeit nicht, sondern die bewegende Kraft, das Gewicht des auf das Rad fallenden Wassers.

Ist eine solche Maschine einmal in Bewegung gesetzt, so wird sie nach dem Beharrungsgesetze fortfahren, sich zu bewegen; sobald aber noch eine Last gewältigt, eine Arbeit verrichtet werden soll, so wird diese entweder die Maschine zum Stillestehen bringen, oder es wird ein fortdauernder Kraftaufwand hierzu erforderlich seyn. Ein sogenanntes Perpetuum mobile, das heißt eine Maschine welche, einmal in Bewegung gesetzt, ohne einen Kraftaufwand fortwährend eine Arbeit liefert, ist nicht möglich.

43. Bei allen Maschinen kommen Bewegungswiderstände vor, namentlich Reibung; zu ihrer Ueberwindung ist ein Kraftaufwand erforderlich, oder ihre Ueberwindung ist eine Arbeit; diese Arbeit und die gewünschte Arbeit zusammen werden dem Kraftaufwande gleich seyn, also die Nutzarbeit bei jeder Maschine immer etwas kleiner, als der Kraftaufwand. In diesem Buche vernachläßigen wir vorerst die Bewegungswiderstände, und suchen die Wirkungen der Maschinen zu bestimmen, in der Voraussetzung, es gebe keine solche Bewegungswiderstände. Wir thun dieß, um möglichst einfache Resultate zu erhalten.

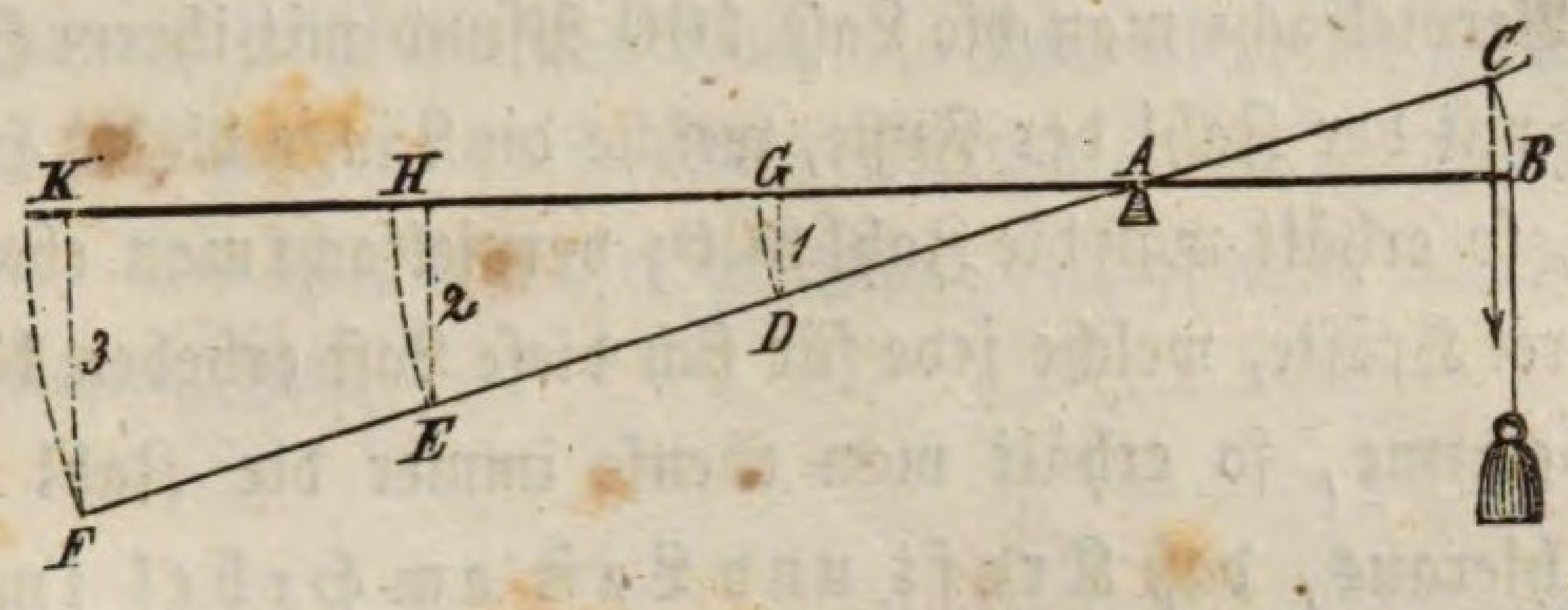
44. Alle Bewegung, die mit Maschinen hervorgerufen werden soll, läßt sich aus geradliniger und kreisförmiger zusammensetzen; die einfachsten Maschinen sind daher auch solche, welche eine geradlinige Bewegung, oder solche, welche eine drehende Bewegung hervorbringen; die erste nennt man die schiefe Ebene, die zweite den Hebel. Von jeder hat man noch einige Unterarten, den Keil und die Schraube bei der schiefen Ebene, die Rolle und das Rad beim Hebel. Diese sechs einfachen Maschinen sollen nun hier betrachtet werden, wobei wir mit dem Hebel beginnen.

§. 1. Vom Hebel.

45. Früher wurde erklärt, ein Hebel sey eine feste Stange, welche an einem Puncte so festgehalten sey, daß sie sich um diesen drehen könne; nach und nach hat aber diese Stange so vielerlei Gestalten erhalten, daß man jetzt besser sagt, ein Hebel ist ein starrer Körper, welcher sich um eine festgehaltene Linie, die Achse, drehen kann. Den Namen Hebel trägt diese Maschine, weil sie häufig beim Heben von Lasten benützt wird.

46. Soll mit einem Hebel ein Widerstand gewältigt, z. B. eine Last, wie in Fig. 25., von B bis C gehoben werden, so muß eine

Fig. 25.



Kraft in G bis D, in H bis nach E, eine Kraft in K bis nach F gehen, also einen um so längern Weg durchlaufen, je größer der Hebelsarm AG, AH, AK dieser Kraft ist.

Die Arbeit ist immer die Last von B bis nach C gehoben, dieselbe Arbeit erfordert denselben Kraftaufwand, dessen Größe gefunden wird, wenn man die Kraft mit dem Wege der Kraft vervielfacht; die erforderliche Kraft selbst wird also um so kleiner seyn, je größer der Weg ist, den sie durchlaufen muß, oder je größer der Hebelsarm der Kraft ist. Ist z. B. das zu hebende Gewicht 100 Pfd., und die Höhe, auf welche dieses Gewicht erhoben werden soll, 1 Fuß, so ist die zu leistende Arbeit (Nro. 10.) $100 \times 1 = 100$ Fußpfund.

Ist hierbei AB der Hebelsarm der Last, etwa 3 Fuß, so wird der Punct G, der auch 3 Fuß vom Drehpunct weg liegt, ebenfalls um einen Fuß sinken müssen, bis B um einen Fuß gestiegen ist; die in G drückende Kraft wird also auch um 1 Fuß fortgehen, und ist sie 100 Pfd., so wird der Kraftaufwand $100 \times 1 = 100$ Fußpfund seyn, wie die Arbeit. Läßt man aber die Kraft H an einem doppelt so langen Hebelsarme wirken, so wird bei gleicher Hebung der Last, also bei gleicher Drehung des Hebels der Punct H zwei Fuße weit fortgehen, es wird also die Kraft, welche in H wirkt, nur noch die Hälfte von 100 Pfd. seyn müssen, d. h. 50 Pfd. Der Kraftaufwand ist dann $50 \times 2 = 100$ Fußpfund, gleich der geleisteten Arbeit.

Wird der Hebelsarm der Kraft 9 Fuß, so wird auch der Weg dieser Kraft dreimal so groß, als der der Last; die Kraft darf jetzt nur noch der dritte Theil der Last seyn, um denselben Kraftaufwand zu erhalten, und die Last zu halten, oder zu erheben, wobei aber dann

immer noch ein weiterer Kraftaufwand für die anfängliche Bewegung erfordert wird.

47. Vervielfacht man die Last 100 Pfund mit ihrem Hebelsarme (eigentlich mit der Zahl der Fuße, welche die Länge dieses Hebelsarms messen) 3, so erhält man die Zahl 300; vervielfacht man ebenso irgend eine der drei Kräfte, welche jede für sich diese Last erheben können, mit ihrem Hebelarme, so erhält man ebenso immer die Zahl 300, und man sieht hieraus, daß Kraft und Last am Hebel im Gleichgewichte sind, wenn jede mit ihrem Hebelarme vervielfacht dieselbe Zahl geben. Natürlich müssen dabei die Kraft und die Last beide in einem Maaße, und ebenso die Längen der beiden Hebelsarme in einem Maaße angegeben seyn, nicht etwa die eine in Fußen, die andere in Zollen.

Als ein Beispiel, wie dieser Satz angewendet werden kann, mag Folgendes dienen. Mittelst eines Hebels soll eine Last von 400 Pfd. 1 Fuß hoch durch einen Mann erhoben werden; wie kann dieser Hebel gewählt werden?

Um eine Erhebung auf 1 Fuß hervorbringen zu können, muß der Hebelsarm, an dem die Last hängt, wenigstens auch 2 Fuß lang seyn; dann ist die Last, multiplicirt mit ihrem Hebelsarme $400 \times 2 = 800$. Der Mann kann im höchsten Falle sich an den Hebel hängen, also mit seinem eigenen Gewichte abwärts ziehen, was etwa 140 Pfd. seyn wird, wofür ich nur 100 Pfd. in Rechnung bringen will. Um mit dieser Kraft die Last zu erheben, muß der Hebelsarm der Kraft der 100ste Theil von 800 seyn, oder 8 Fuß. Dann ist

Kraft mal Krafthebelsarm gleich Last mal Lasthebelsarm,

$$100 \times 8 = 400 \times 2.$$

Man sieht leicht, daß zu der Erhebung der Last um 1 Fuß die Kraft jetzt den 4fachen Weg 4 Fuß durchlaufen muß, da sie an einem 4mal so langen Hebelsarme wirkt, als die Last, und man sieht auch ganz leicht, daß man mit gehöriger Verlängerung des Hebels diese Last 400 Pfd. mit jeder noch so kleinen Kraft heben kann, daß aber diese Kraft dann einen in dem Verhältnisse, als sie kleiner wird, größern Weg durchlaufen muß.

48. Der Hebel wird in den Gewerben in unzähligen Fällen angewendet, wovon wir einige Beispiele geben wollen.

Den Namen trägt die Maschine, wie schon oben bemerkt, von ihrem Gebrauche zum Heben von Lasten, schweren Hölzern, Bausteinen und dergleichen. Die Art, wie dieß geschieht, ersieht man aus den hier folgenden Zeichnungen.

Fig. 26.

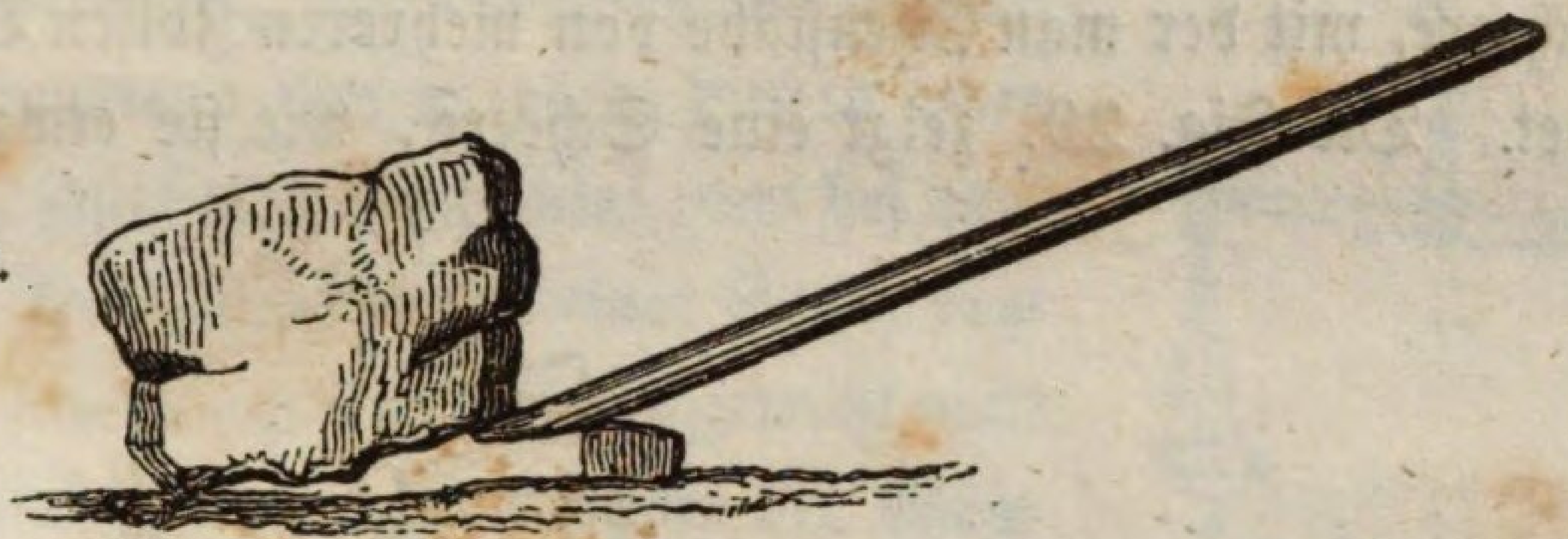


Fig. 27.

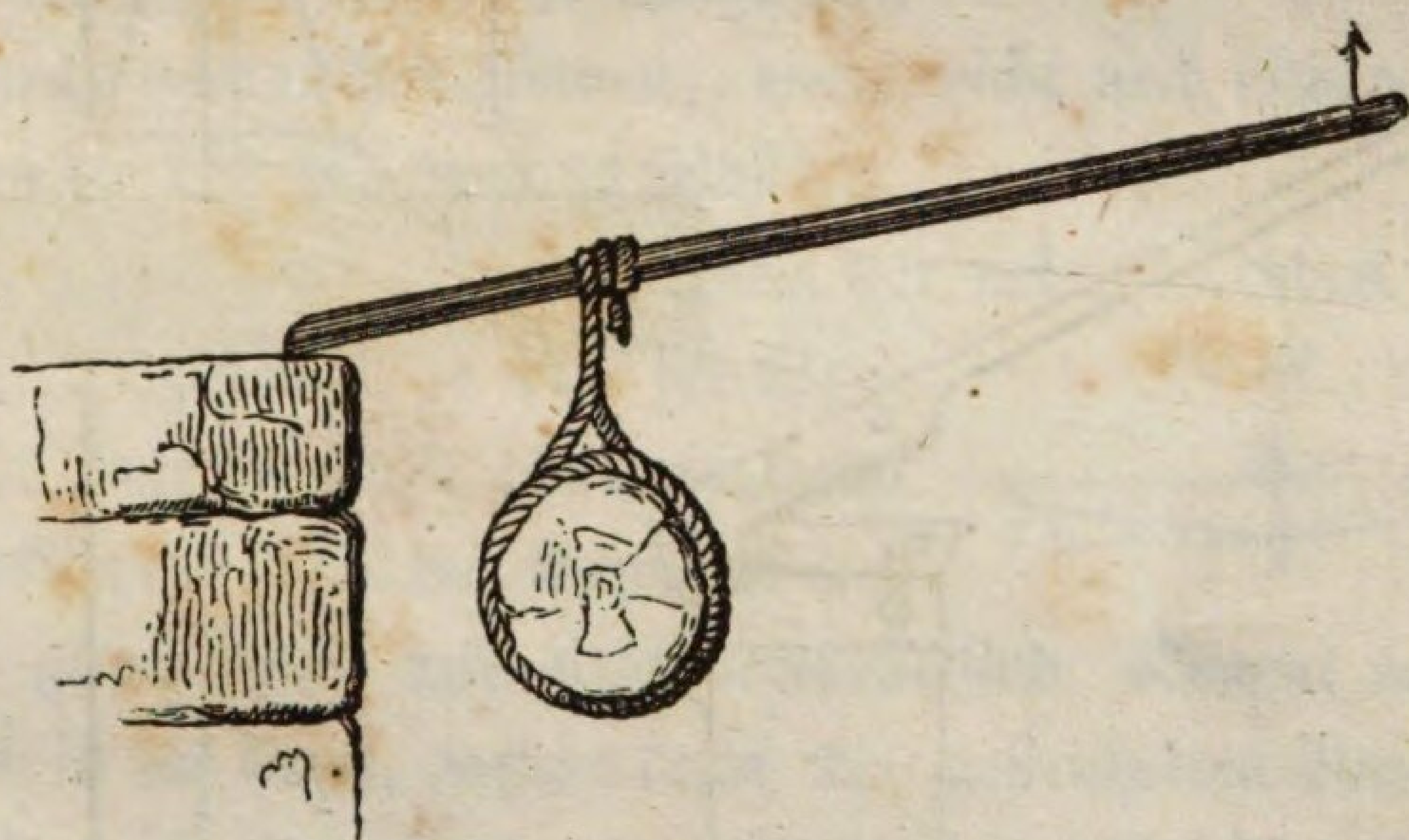
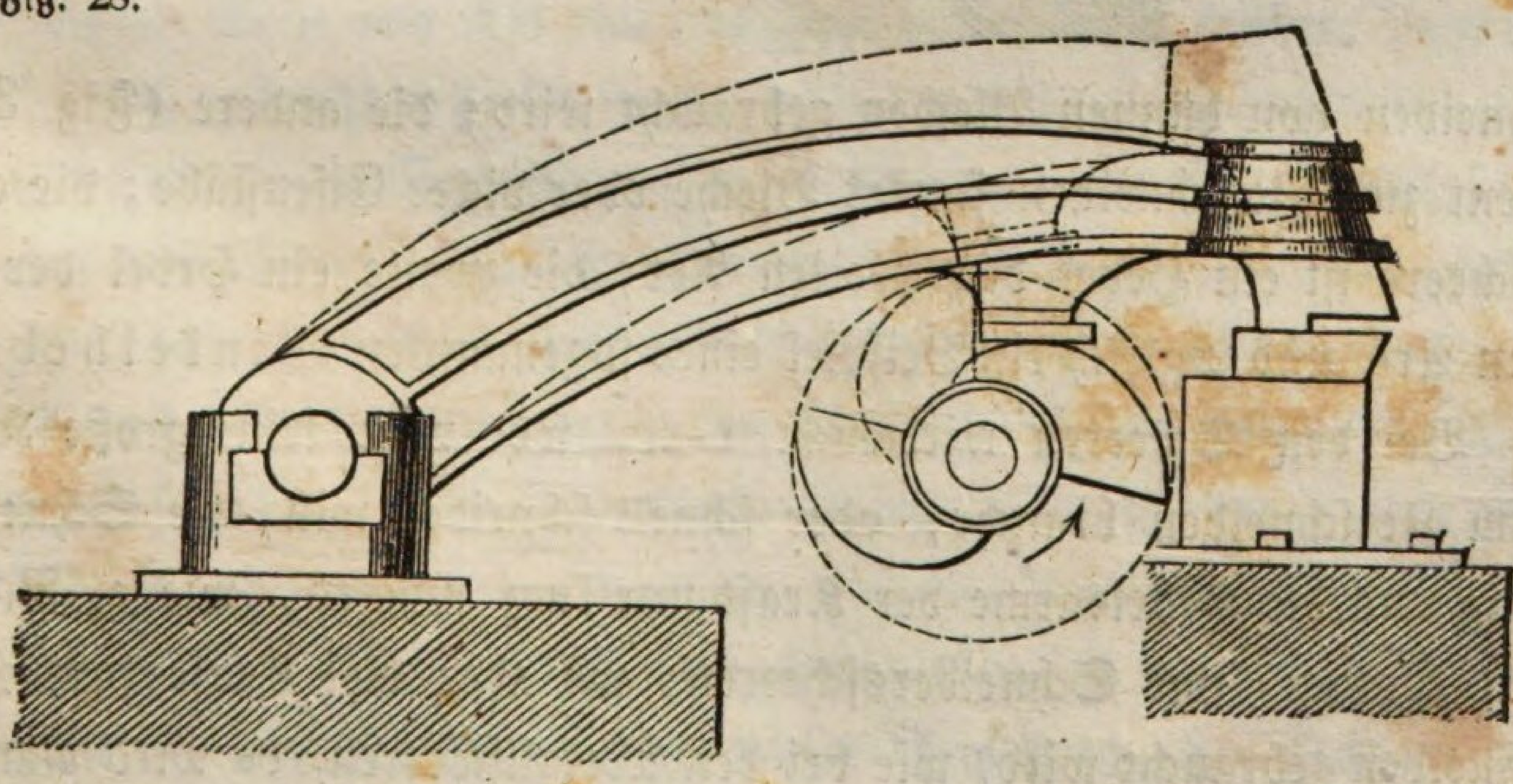


Fig. 28.



Man sieht aus diesen Zeichnungen zugleich, wie beim Hebel der Drehpunct zwischen den Angriffspuncten von Kraft und Last liegen kann, oder aber daß Kraft und Last auch auf einer Seite des Drehpunctes angebracht werden können. Die Hebel unterscheidet man hiernach auch wohl in Hebel der ersten und Hebel der zweiten Art.

Ein anderes Beispiel der Anwendung des Hebels bieten die verschiedenartigen Scheeren von der kleinsten Scheere der Stickerin bis zu der Scheere, mit der man Eisenstäbe von mehreren Zollen Dicke durchschneidet. Die Fig. 29. zeigt eine Scheere, wie sie etwa zum Zer-

Fig. 30.

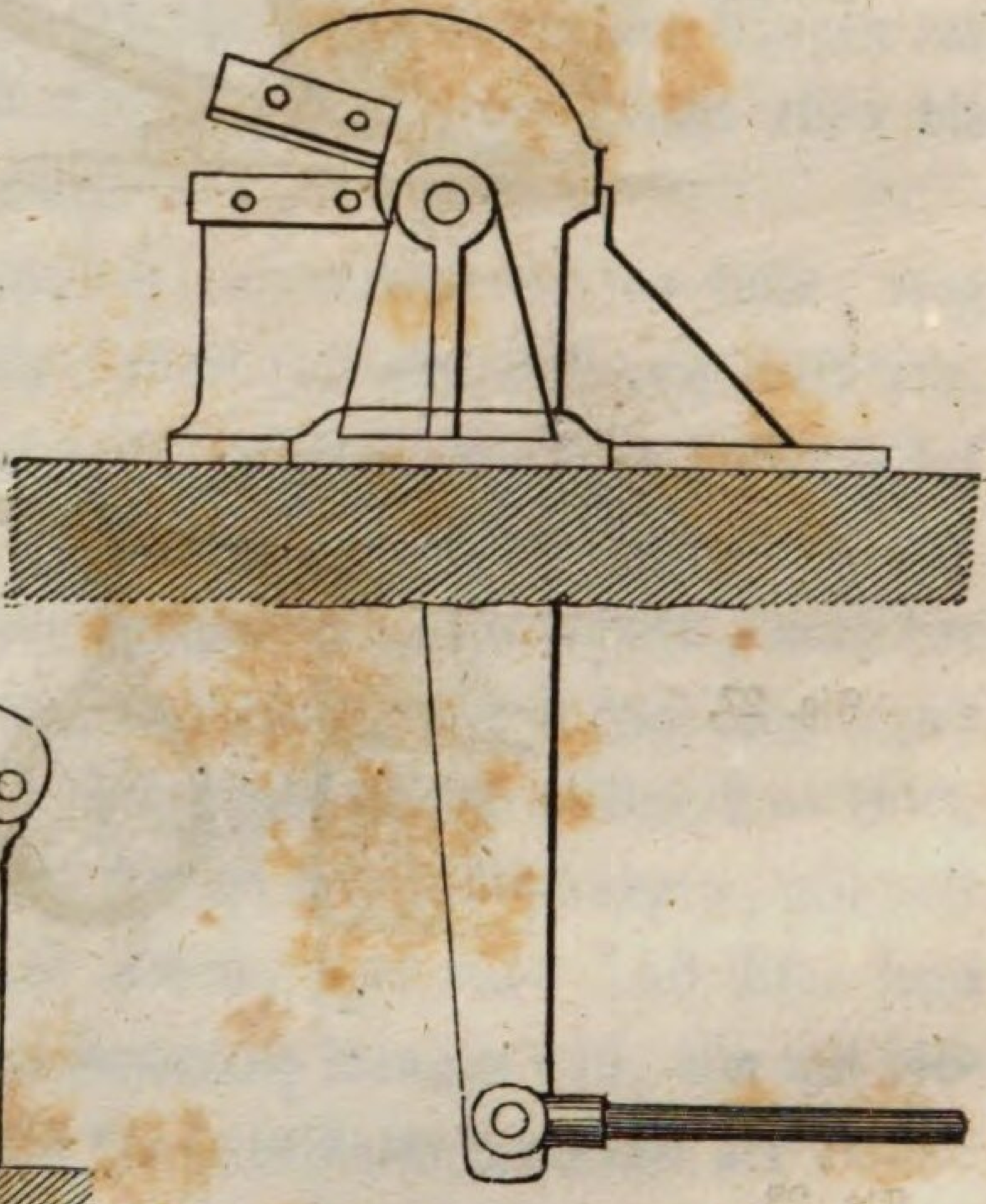
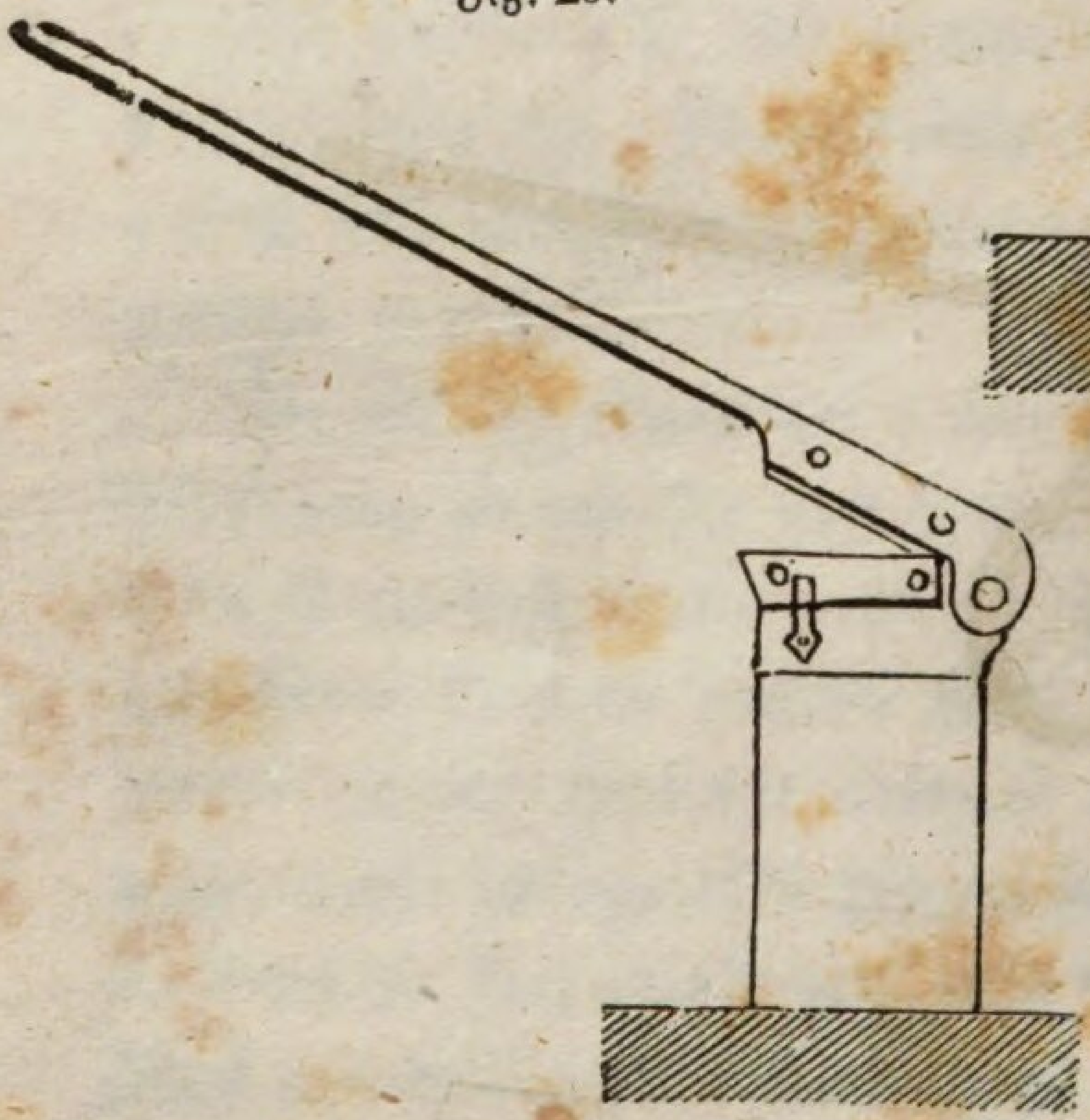


Fig. 29.



schneiden von dünnen Blechen gebraucht wird; die andere (Fig. 30.) dient zum Zerschneiden starker Bleche oder dicker Eisenstäbe; die erste Scheere ist ein Hebel der zweiten Art; die zweite ein Hebel der ersten Art, und zugleich ein Beispiel eines sogenannten Winkelhebels.

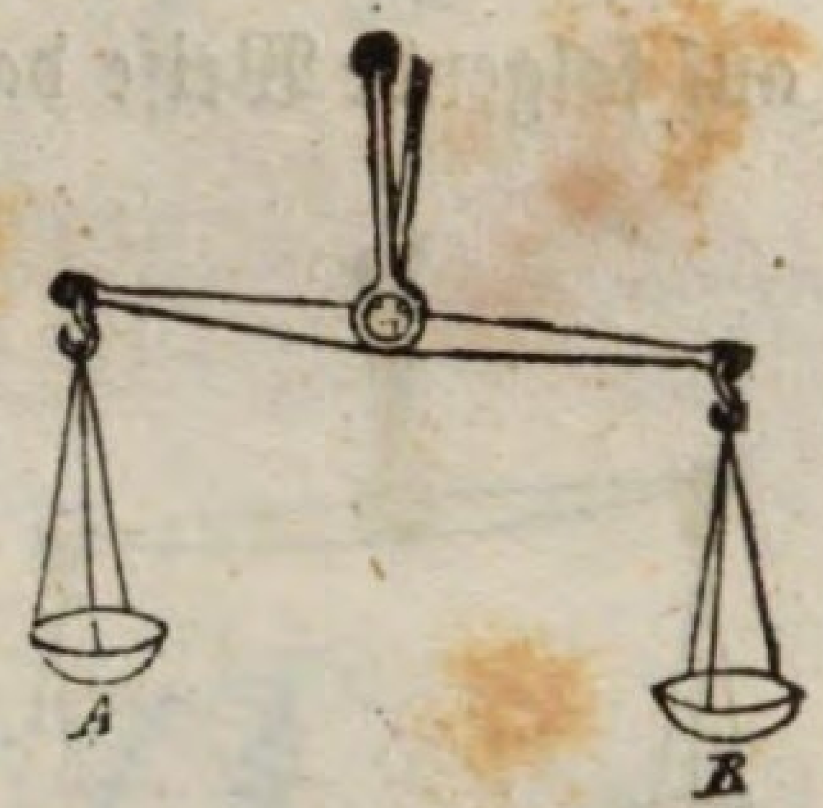
Bei den Scheeren wird man dort, wo man keine große Kraft zum Zerschneiden braucht, oder schnell schneiden will, die Schneiden lang und die Hebelsarme der Kraft nur kurz machen, wie z. B. bei den Papier- und Schneidersscheeren; wo aber viel Kraft zum Zerschneiden gebraucht wird, wie bei den Metallscheeren, da wird man die

Schneide kurz, aber den Hebelsarm der Kraft lang machen müssen; es werden mit diesen Scheeren nur kurze Schnitte gemacht werden können.

49. Eine der häufigsten Anwendungen des Hebels ist die Wage.

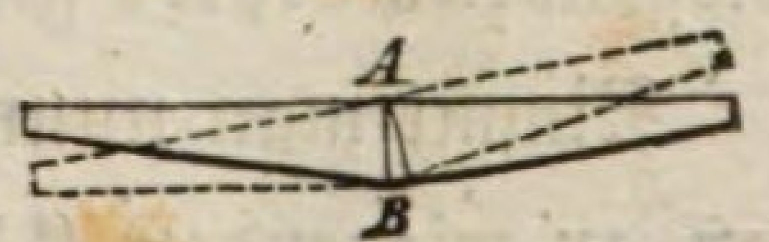
Die gewöhnliche Wage ist ein gleichförmiger Hebel, an dessen beiden Enden die Wagschalen aufgehängt sind. Werden in beide Wagschalen gleiche Gewichte gelegt, so wird Gleichgewicht stattfinden, und der Wagbalken wird zur Ruhe kommen; aber er würde dieß in jeder Lage thun, schief oder horizontal, und bei dem geringsten Uebergewichte auf einer Seite, dem geringsten Ausschlage würde Gleichgewicht nicht mehr stattfinden können; es würde der Wagbalken ganz umschlagen, und man würde eine solche Wage nicht gebrauchen können, wenn nicht noch etwas hinzukäme, das Gewicht des Wagbalkens selbst.

Fig. 31.



Hat dieser Wagbalken etwa die Form der nebenstehenden Figur, und ist er in A aufgehängt, so wird der Wagbalken in dieser Lage in Ruhe bleiben, wenn rechts und links von AB die Gewichte der Wagbalkstücke gleich groß, und gleich vertheilt sind. Kommt nun dieser Wagbalken in die Lage, welche durch die gestrichelten Linien angedeutet ist, so wird jetzt offenbar das Gewicht des Stücks rechts von AB größer seyn, als das links von AB, und der Balken wird also auf der rechten Seite von AB abwärts sinken, in seine frühere Lage zurückkehren, und nur in dieser in Ruhe bleiben können. Hängen in beiden Wagschalen gleiche Gewichte, so wird dieß noch ebenso der Fall seyn; ist aber das Gewicht, das links in der Wagschale liegt, etwas größer, als das rechts, so wird jetzt der Wagbalken durch sein Uebergewicht rechts das Gleichgewicht möglicher Weise herstellen, und die Wage in dieser schiefen Stellung in Ruhe kommen können, dabei aber eben durch diese schiefe Stellung anzeigen, daß das Gewicht links größer ist, als das rechts. Dadurch also, daß das Gewicht des Wagbalkens so vertheilt ist, daß der Mittelpunct dieses Gewichtes, der Schwerpunct

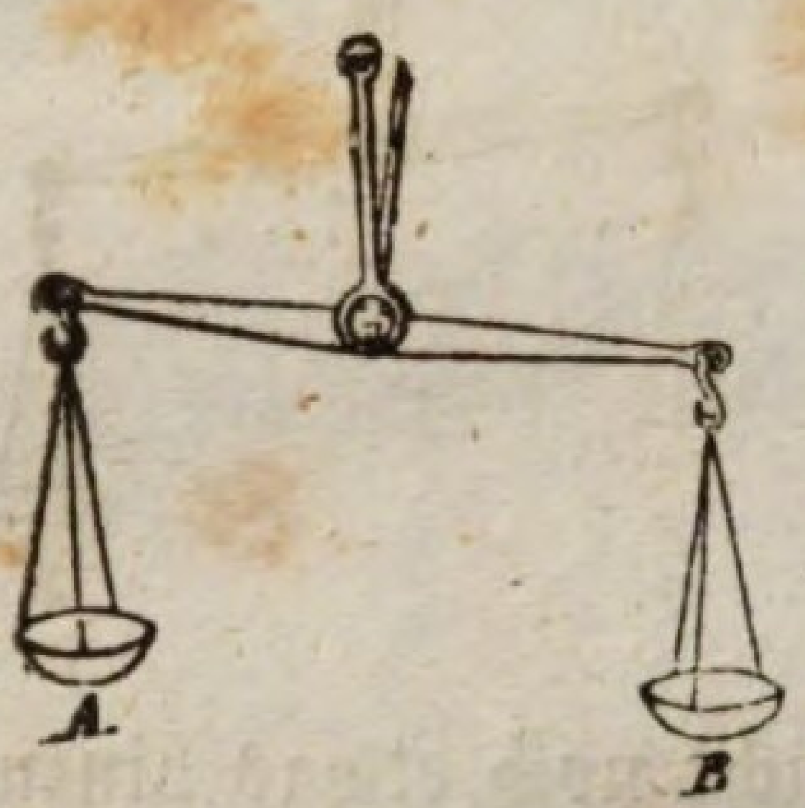
Fig. 32.



des Wagbalkens, unter dem Aufhängepunct liegt, wird die Wage erst ein brauchbares Instrument.

50. Wir wollen hier nicht weiter auf die Erfordernisse einer guten Wage eingehen, sondern dafür nachsehen, wie man mit jeder Wage richtig wiegen, und die Richtigkeit einer Wage untersuchen kann; beides Fragen, welche häufig genug vorkommen.

Mit jeder Wage, sie mag richtig oder nicht richtig seyn, kann man auf folgende Weise das Gewicht eines Körpers richtig bestimmen. Man



legt in die Wagschale A den zu wiegenden Körper; nach B beliebige andere Körper, z. B. Schrote oder Gewichte, wenn man genug hat, bis die Wage einsteht; dann nimmt man den zu wiegenden Körper aus der Wagschale A, und bringt in diese so lange Gewichte, bis diese mit der unverändert gebliebenen Belastung der Wagschale B die Wage zum Einspielen bringt. Nun muß offenbar das Gewicht, das jetzt in der Wagschale A liegt, mit dem Gewichte des zu wiegenden Körpers gleich groß seyn, die Wage mag falsch seyn, oder nicht.

Nimmt man nunmehr die Belastung aus B, und bringt dorthin den zu wiegenden Körper, und stellt dieser die Wage mit dem ihm gleichen Gewichte, das in A geblieben ist, ein, so ist die Wage richtig, vorausgesetzt, daß sie sich auch ganz unbelastet einstellt.

51. Für den Gebrauch des Großhandels sind Wagen erforderlich, mit welchen mit Bequemlichkeit größere Lasten abgewogen werden können. Unter diesen zeichnet sich vor allen die Wage, welche Quintenz, ein Deutscher, erfunden, und welche zuerst durch die HH. Rolle und Schwilgue in Straßburg eine allgemeinere Verbreitung gefunden hat. Die nebenstehenden Figuren 33. und 34. geben die Construction und eine Ansicht dieser sinnreich ausgedachten Wagen an.

Auf die Brücke DE werden die Lasten aufgelegt; in die an A hängende Wagschale kommen die Gewichte. Der Hebel AKBC dreht sich um K. Es kommt nun zuerst darauf an, die Wage so einzurichten, daß es gleichgültig ist, auf welchen Theil der Brücke DE die Last zu liegen kommt. Nach den oben aufgestellten Grundsätzen wird dieß

Fig. 33.

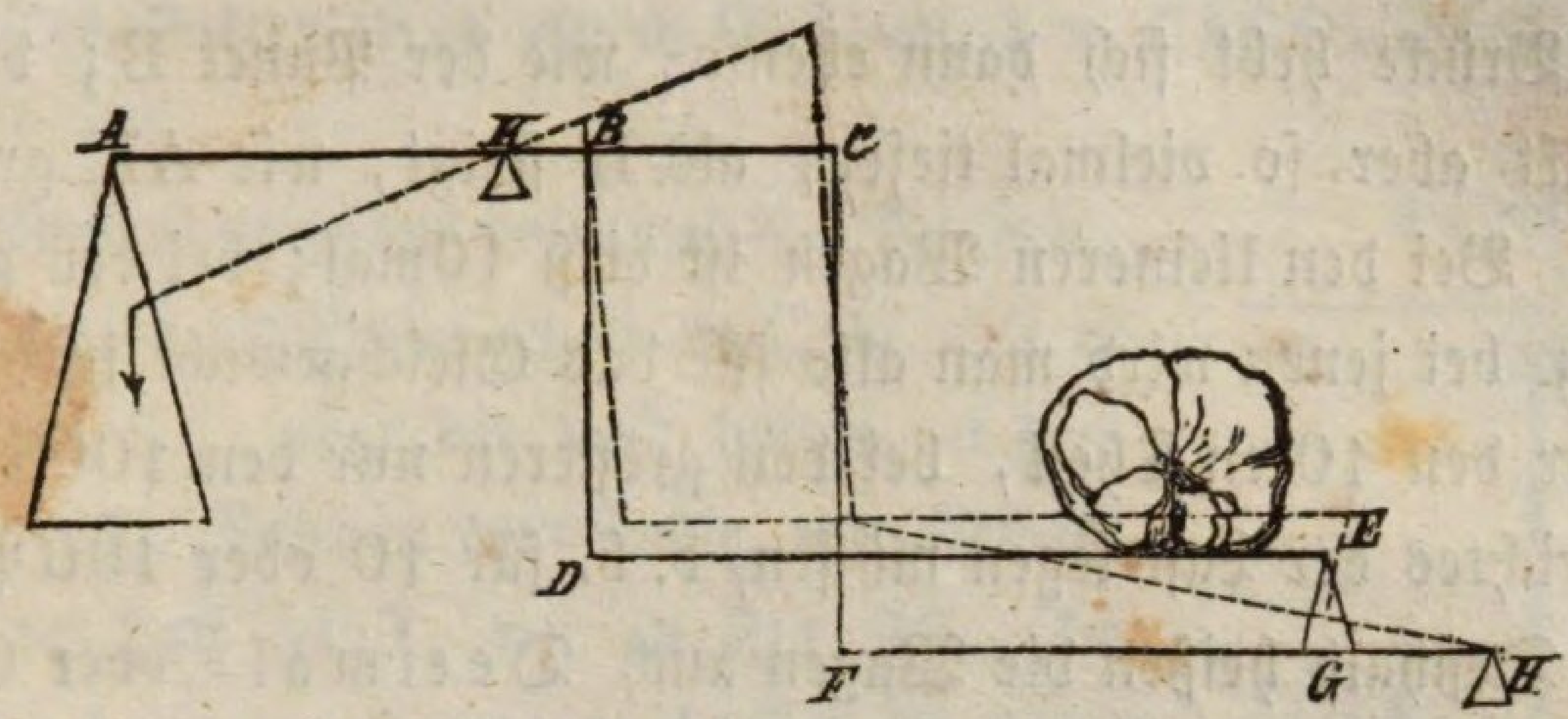
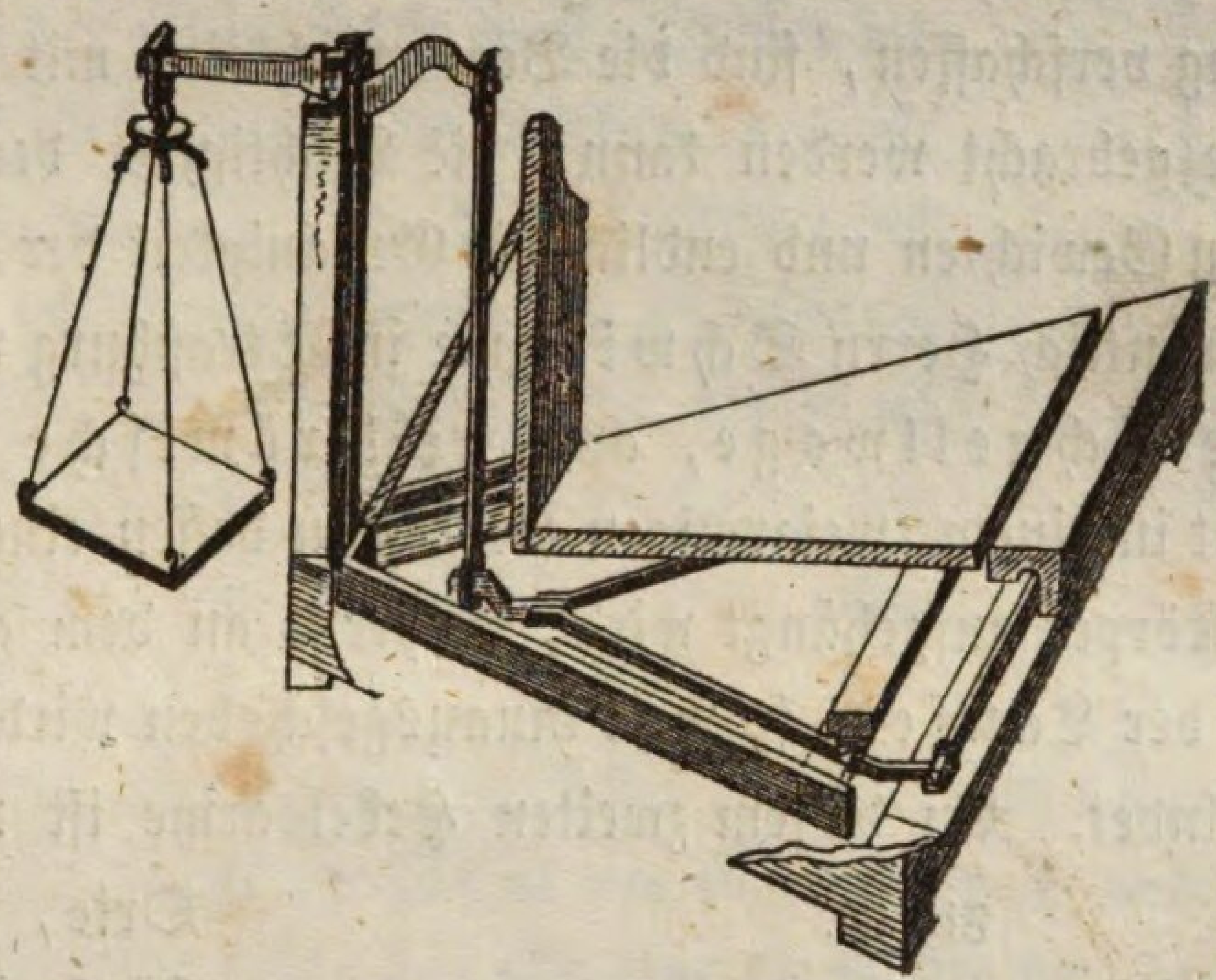


Fig. 34.
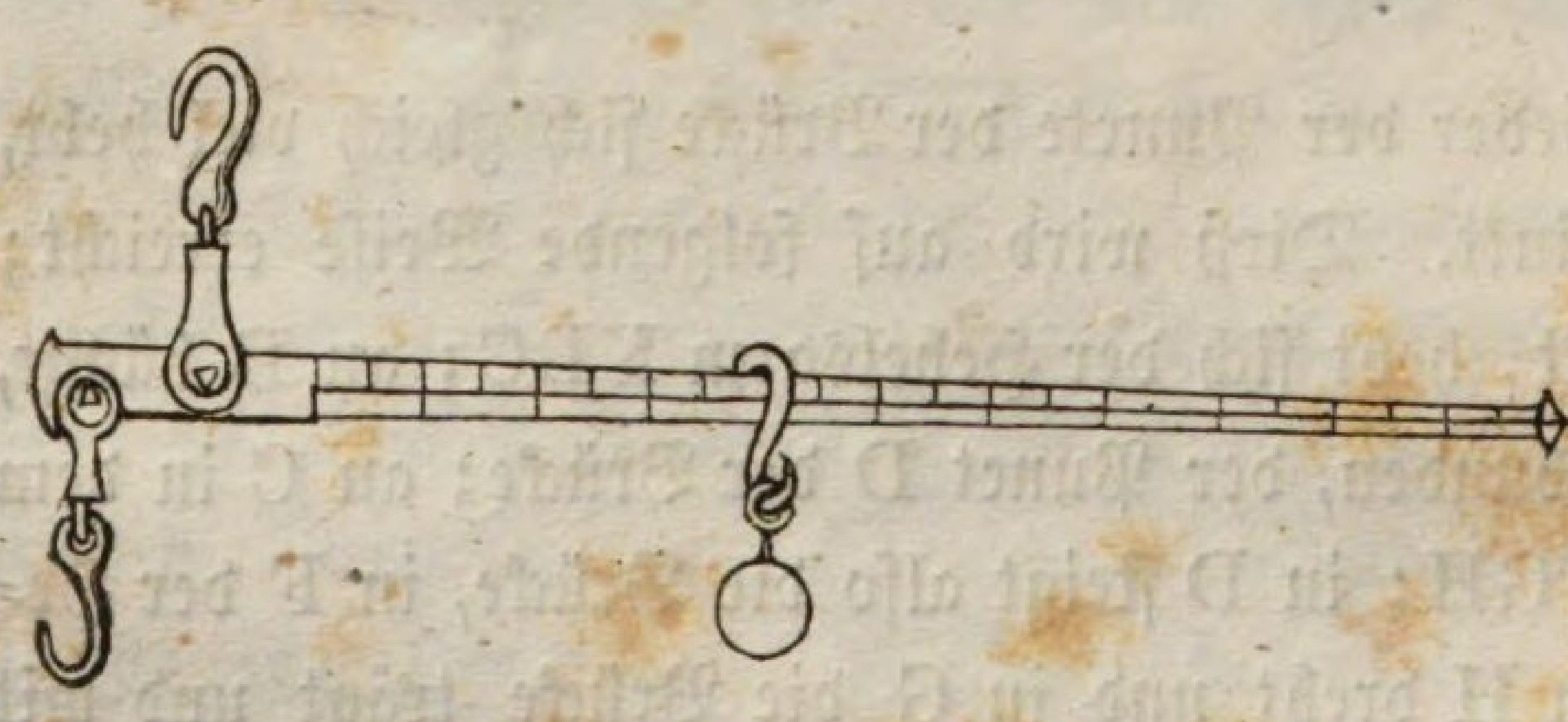


der Fall seyn, sobald jeder der Puncte der Brücke sich gleich viel hebt, wenn die Wagschale sinkt. Dieß wird auf folgende Weise erreicht; wenn die Wagschale sinkt, hebt sich der Hebelsarm KBC; an B hängt, durch eine Stange verbunden, der Punct D der Brücke; an C in dem Puncte F der Hebel FGH; in D steigt also die Brücke, in F der Hebel FGH, der sich um H dreht und in G die Brücke trägt und mit hebt; es muß also die Einrichtung getroffen werden, daß die Puncte D und G sich gleich hoch heben. Ist nun KC etwa 4mal so groß als KB, so wird sich C und damit F 4mal so weit heben, als B, und ist nun auch FH viermal so groß, als GH, so wird sich G nur den 4ten Theil so hoch heben, als F oder C, d. h. genau so hoch, als B. Damit also die Brücke DE sich in allen Puncten gleich hoch hebt, muß KC eben so vielmal größer genommen werden, als KB, wie FH größer ist, als GH.

Die Brücke hebt sich dann ebenso, wie der Punct B; die Wagschale sinkt aber so vielmal tiefer, als B steigt, wie AK größer ist, als KB. Bei den kleineren Wagen ist dieß 10mal; bei den größeren 100mal; bei jenen wird man also für das Gleichgewicht in die Wagschale nur den 10ten Theil, bei den größeren nur den 100sten Theil des Gewichtes der Last legen müssen, d. h. für 10 oder 100 Pfd. nur 1 Pfd. Deßhalb heißen die Wagen auch Decimal- oder Centesimalwagen.

Die großen Vortheile dieser Wagen, welche ihnen immer allgemeineren Eingang verschaffen, sind die Bequemlichkeit, mit der die Last auf die Wage gebracht werden kann, die Leichtigkeit des Abwiegens mit den kleinen Gewichten und endlich die Genauigkeit der Ausführung, welche sie namentlich Herrn Schwilgue in Straßburg verdanken.

52. Die Schnellwage, auch wohl römische Wage genannt, besteht in einem zweiarmigen Hebel, an dessen einem Ende der zu wiegende Körper aufgehängt wird, während an dem andern Arme ein Gewicht, der Läufer, so weit hinausgeschoben wird, bis Gleichgewicht stattfindet. An diesem zweiten Hebelsarme ist nun an dem Orte, an dem der Läufer jetzt steht, das Gewicht des zu wiegenden Körpers angeschrieben.

Fig. 35.



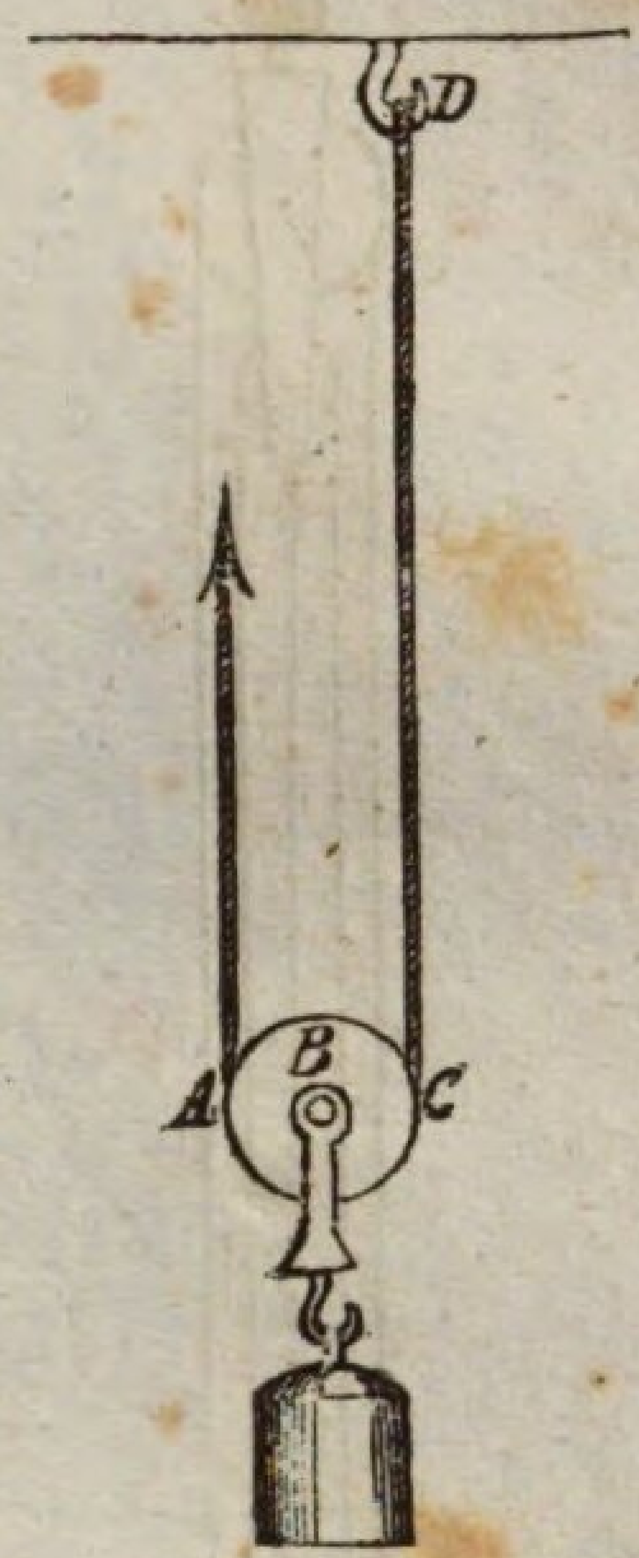
Das Abwiegen mit diesen Wagen geht sehr schnell, es gewährt aber keine große Genauigkeit, weßhalb man diese Wagen nur dort anwendet, wo es auf diese nicht ankommt.

§. 2. Von der Rolle.

53. Die Rolle ist eine kreisförmige Scheibe, welche um eine durch ihren Mittelpunct gehende Achse (den Bolzen) drehbar ist, und um welche eine Schnur, ein Seil gelegt ist, an welchem Kraft und Last

wirken. Der Bolzen ist in einem Gehäuse, dem Kloben, befestigt, oder liegt darin auf.

Fig. 36.



Die Anwendung kann von zweierlei Art seyn; entweder bleibt die Rolle an ihrem Orte, wie in Fig. 1. (S. 6.), oder die Last hängt an dem Kloben, und die Rolle in dem Seile, und bewegt sich mit der Last selbst, wie in Fig. 36. Im ersten Falle heißt die Rolle eine feste, im zweiten eine Zugrolle.

54. Bei der festen Rolle muß offenbar die Kraft der Last gleich seyn, beide wirken an gleich großen Hebelsarmen; bei der Zugrolle findet die Drehung um den Punct C statt; der Hebelsarm der Last ist CB, der Hebelsarm der Kraft ist AC, zweimal so groß, als der der Last; die Kraft wird also hier nur halb so groß seyn müssen, als die Last.

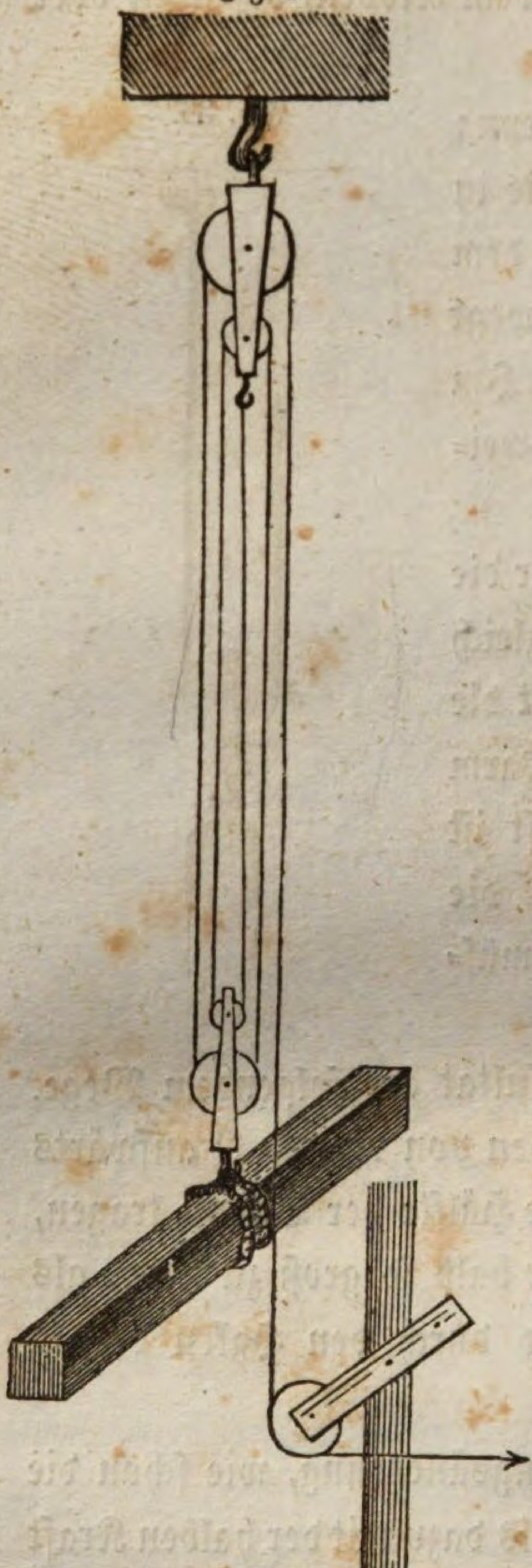
Noch anschaulicher ergibt sich dieses Resultat auf folgendem Wege. Bei der Zugrolle hängt die Last in den beiden von A und C aufwärts gehenden Seilstücken; jedes hat also nur die Hälfte der Last zu tragen, also die an A nach oben ziehende Kraft nur halb so groß zu seyn, als die Last; die andere Hälfte der Last wird durch den Haken bei D getragen.

55. Die feste Rolle dient zur Richtungsänderung, wie schon die Figur 1. zeigt; die Zugrolle sowohl hiezu, als dazu mit der halben Kraft dieselbe Last erheben zu können. Man hat die Anwendung der Zugrolle und die dadurch sich ergebende Minderung der nothwendigen Kraft wiederholt im Flaschenzug angewendet.

Der gewöhnlich gebrauchte Flaschenzug besteht aus zwei Gehäusen, der festen und der Zugflasche, in deren jedem einige Rollen, jede für sich beweglich, angebracht sind, wie dieß in der nebenstehenden Figur zu sehen ist.

In Fig. 37. hängt die Last in 4 Seilstücken; jedes ist also nur durch den 4ten Theil der Last gespannt, und die Kraft muß also auch

Fig. 37.



nur der 4te Theil der Last seyn. Sind drei Zugrollen vorhanden, oder drei Rollen in der Zugflasche, so wird ebenso die Kraft nur der 6te Theil der Last seyn müssen.

Man kann, wie man leicht sieht, auf diese Weise durch Vermehrung der Zahl der Rollen die erforderliche Kraft beliebig vermindern; doch bleibt man gewöhnlich bei der Anwendung von zwei oder drei Zugrollen stehen, und zwar aus folgenden Gründen. Erstlich wächst der Weg, den die Kraft durchlaufen muß, in demselben Maaße, in welchem die Kraft kleiner wird, und zweitens bringt jede Rolle eine Reibung hervor, bei jeder Rolle muß das Seil gebogen werden, zu beidem aber ist Kraft erforderlich, welche für das Heben der Last verloren geht, und diese ist so bedeutend, daß sehr bald die Vermehrung der Rollen keine weitere Verminderung der erforderlichen Kraft zur Folge hat.

§. 3. Von dem Rade an der Welle.

56. Das Rad an der Welle besteht aus einer kreisförmigen Scheibe, dem Rade, welche mit einer fest mit derselben verbundenen Säule, der Welle, sich um die beiden gemeinschaftlichen Achsen drehen kann, wie dieß in nebenstehender Figur zu sehen ist. Die Welle ruht dabei immer an beiden Enden mit Zapfen in Zapfenlagern, selten ist sie in Spitzen aufgehängt. Die kreisförmige Scheibe, das Rad, ist zuweilen nur durch einen oder mehrere Stadien angedeutet,

wie bei dem Hornhaspel (Fig. 39.), oder bei dem Kreuzhaspel (Fig. 40.)

Das Horn A (Fig. 39.) heißt noch gewöhnlicher eine Kurbel, und hat als solche mancherlei Formen erhalten, wie sie z. B. an den gewöhnlichen Kaffeemühlen, den Schleifsteinen gesehen werden.

57. Die Kraft wirkt bei dem Rad an der Welle gewöhnlich am Umfange des Rades, und die Last am Umfange der Welle, wie z. B. an dem Haspel (Fig. 38.), was aber auch umgekehrt vorkommen kann, und vorkommt. Dabei, im ersten Falle, ist dann der Halbmesser des Rades der Hebelsarm der Kraft, und der Halbmesser der Welle der Hebelsarm der Last; die Kraft wird daher so vielmal kleiner seyn können, als die Last, wie der Halbmesser des Rades größer ist, als der Halbmesser der Welle.

Ist z. B. die Länge

Fig. 38.

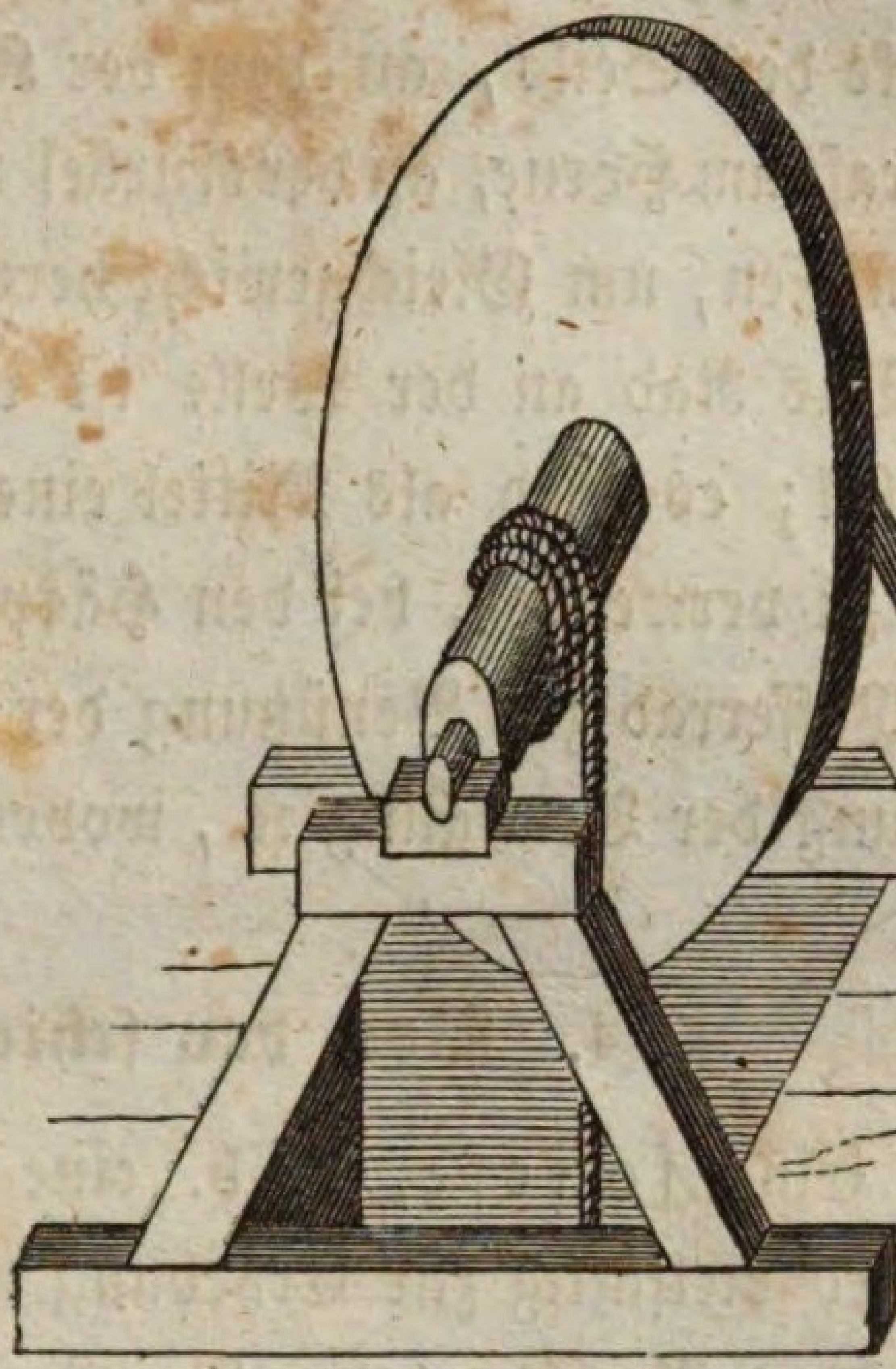


Fig. 39.

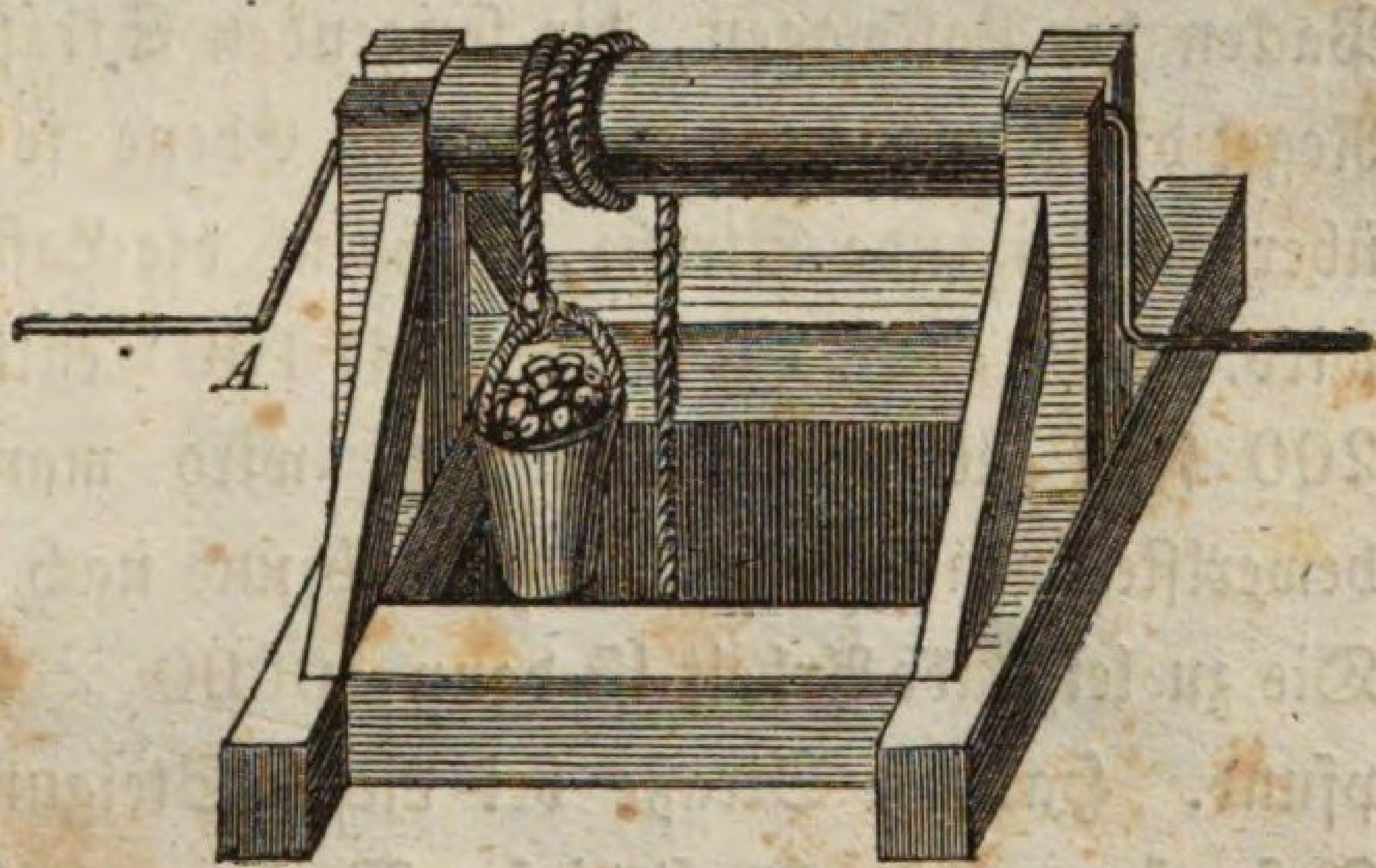
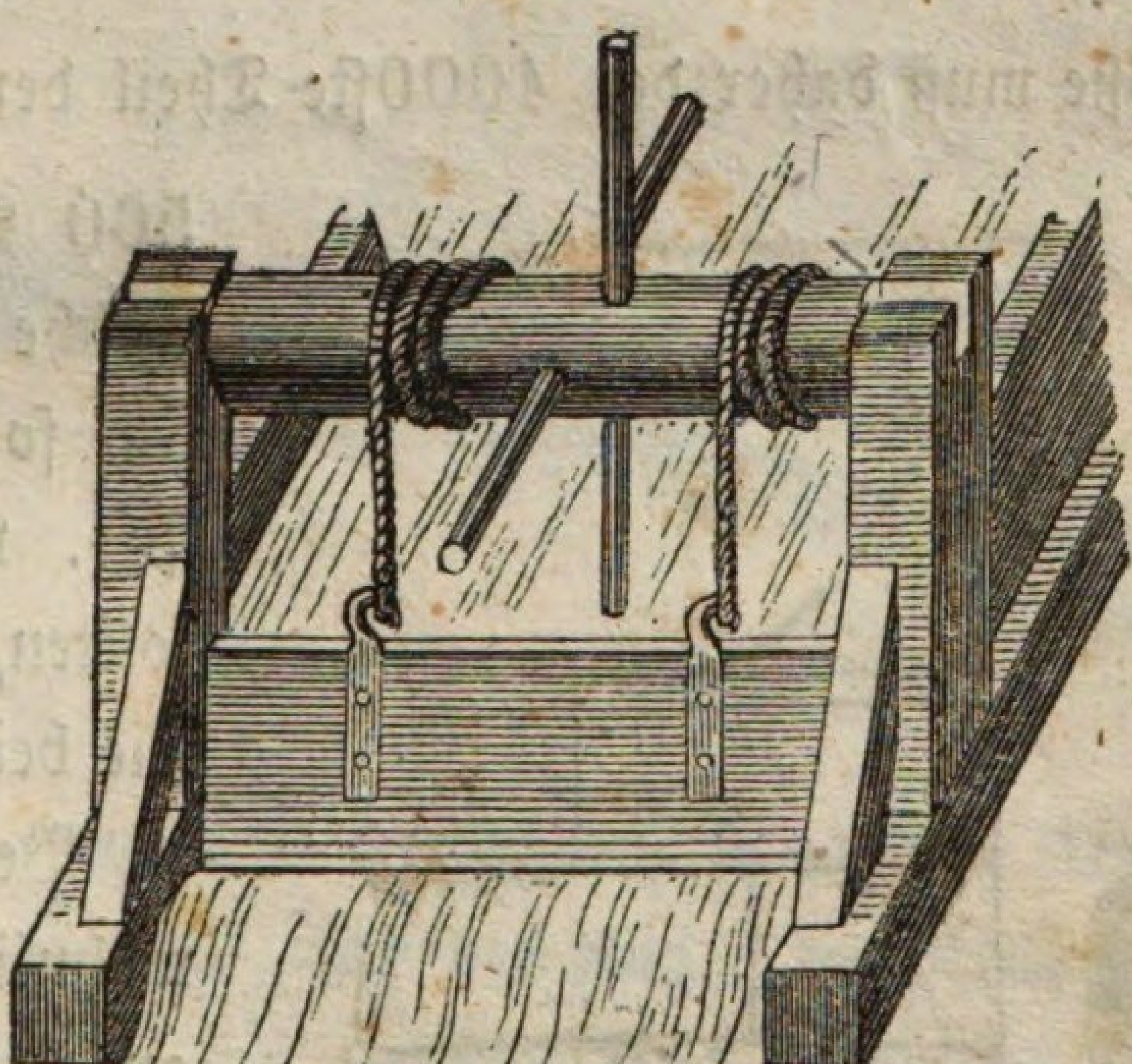


Fig. 40.

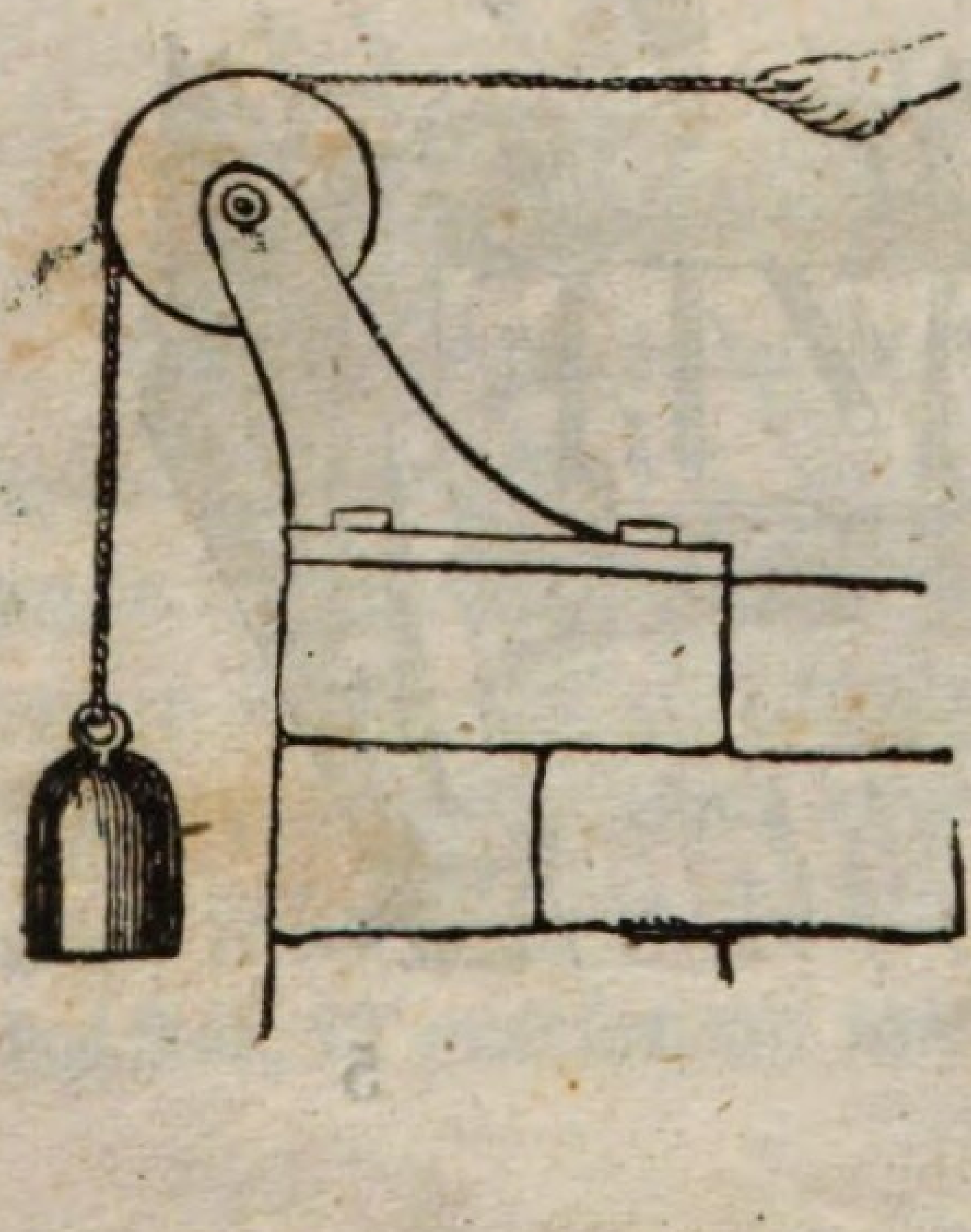


des Horns am Hornhaspel 12 Zoll, der Halbmesser der Welle mit der halben Dicke des Seils, an dem der Kübel hängt, gleich 4 Zoll, so wird die Kraft am Horne, an der Kurbel nur $^4/_{12}$ oder der 3te Theil der Last seyn müssen, um Gleichgewicht herzustellen.

58. Das Rad an der Welle ist von so vielfältiger Anwendung, als der Hebel; es wird als Mittel eine bewegende Kraft zur Hebung von Lasten zu verwenden, bei den Häspeln, den Göpeln gebraucht; es dient als Wasserrad zur Benützung der Wasserkräfte, als Zahnrad zur Fortpflanzung der Bewegung rc., wovon später ausführlicher die Rede seyn wird.

§. 4. Von der schiefen Ebene.

59. Eine schiefe, d. h. eine gegen den Horizont geneigte Ebene wird vielfältig zur Erhebung von Lasten benützt, so z. B. die Baugerüste zum Verführen der Baumaterialien, die Wagenleitern beim Packen der Lastwagen, die steigenden Straßen. Dabei geht in der Regel die Kraft längs der schiefen Ebene fort, wie z. B. das Pferd über die steigende Straße, während die Last nach und nach erhoben wird. Soll z. B. ein Wagen mit 100 Centnern auf eine Anhöhe von 200 Fuß gebracht werden, so wird man dieß auf einer Straße bewerkstelligen können, welche nach und nach auf diese Anhöhe ansteigt. Die zu leistende Arbeit ist dann $10000 \times 200 = 2000{,}000$ Fußpfund. Hat die Straße bei dieser Steigung eine Länge von 4000 Fuß, so muß die Kraft diesen Weg von 4000 Fuß zurücklegen; ihre Größe muß daher der 4000ste Theil der Arbeit oder $\frac{2000000}{4000} =$



500 Pfd. seyn, oder die Pferde, welche den Wagen ziehen, müssen sich so anstrengen, als ob sie 500 Pfd. vertical in die Höhe ziehen sollten, etwa mit einer Vorrichtung, wie bei Fig. 1.

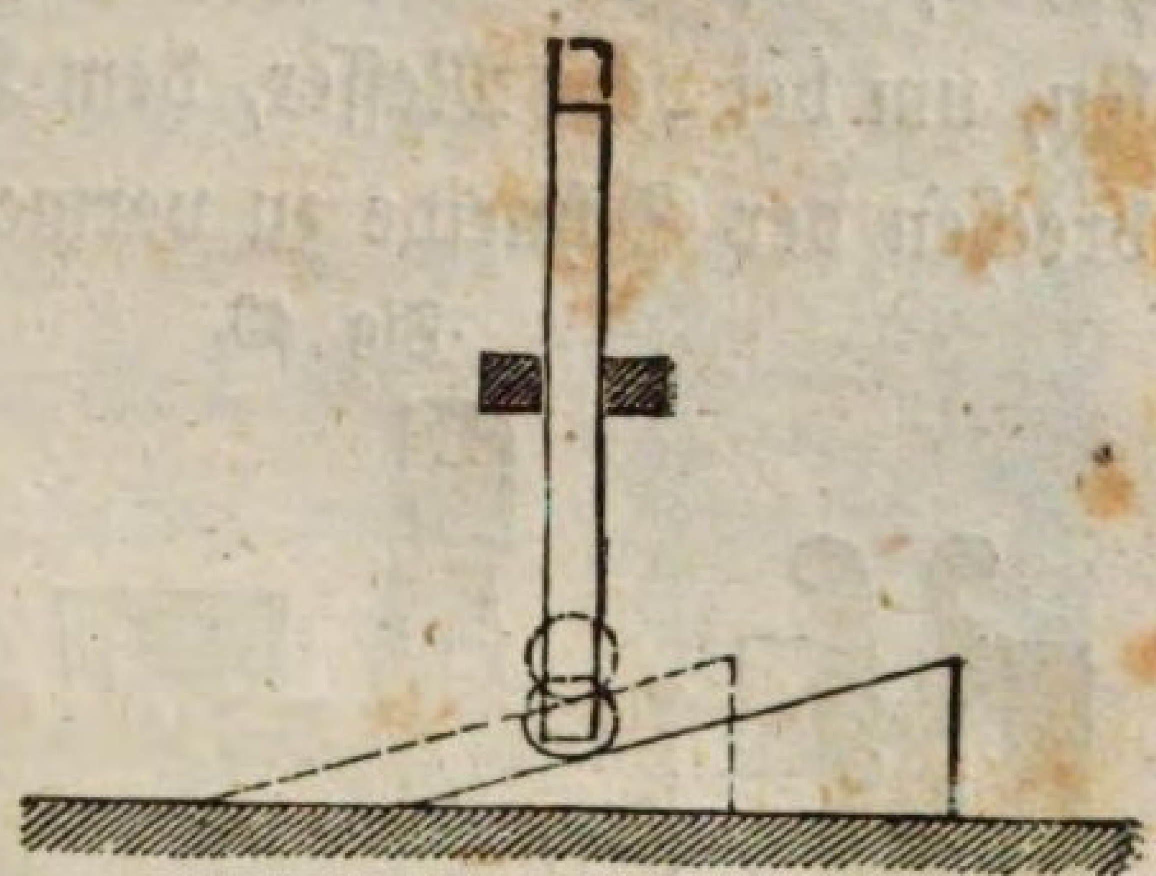
Bei den Straßen gibt man gewöhnlich die Steigung in Procenten an, d. h. man sagt, wie viele Fuße

die Straße auf 100 Fuß Länge steigt. Im vorliegenden Beispiele, wo diese Steigung auf 4000 Fuß nur 200 Fuß beträgt, hat die Straße 5 Procent Steigung. Man sieht, daß hier auch die Kraft nur 5 Procent der Last seyn muß.

Auf horizontaler Straße, ohne Steigung, wird die Last nicht erhoben, man bedarf also dazu auch keiner Kraft; die Kraft, die man gleichwohl zum Fortziehen eines Wagens auf horizontaler Straße bedarf, ist die, welche zur Ueberwindung der Widerstände erfordert wird, wovon im nächsten Buche die Rede seyn wird.

60. Die schiefe Ebene findet auch in der Weise Anwendung, daß sie beweglich, unter einer Last fortgeschoben diese erhebt, wie aus nebenstehender Figur erhellt. In dieser Form heißt sie dann gewöhnlich ein Keil, wovon im nächsten Paragraphen.

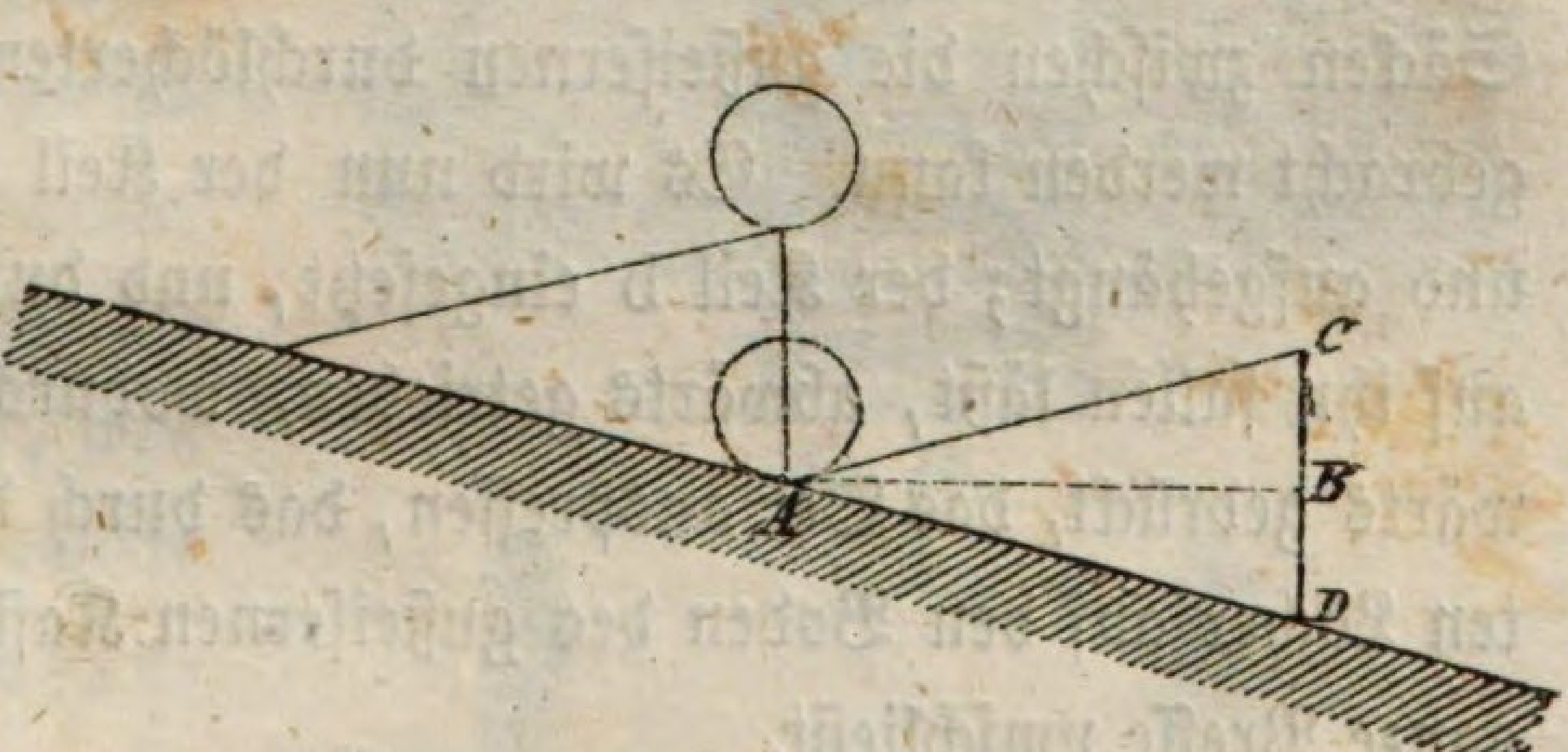
Fig. 41.



§. 5. Vom Keile.

61. Wie wir eben gesehen haben, ist der Keil nichts anderes, als eine bewegliche schiefe Ebene. Man nennt bei ihm die Linie AB die Länge und CD den Rücken des Keils.

Fig. 42.

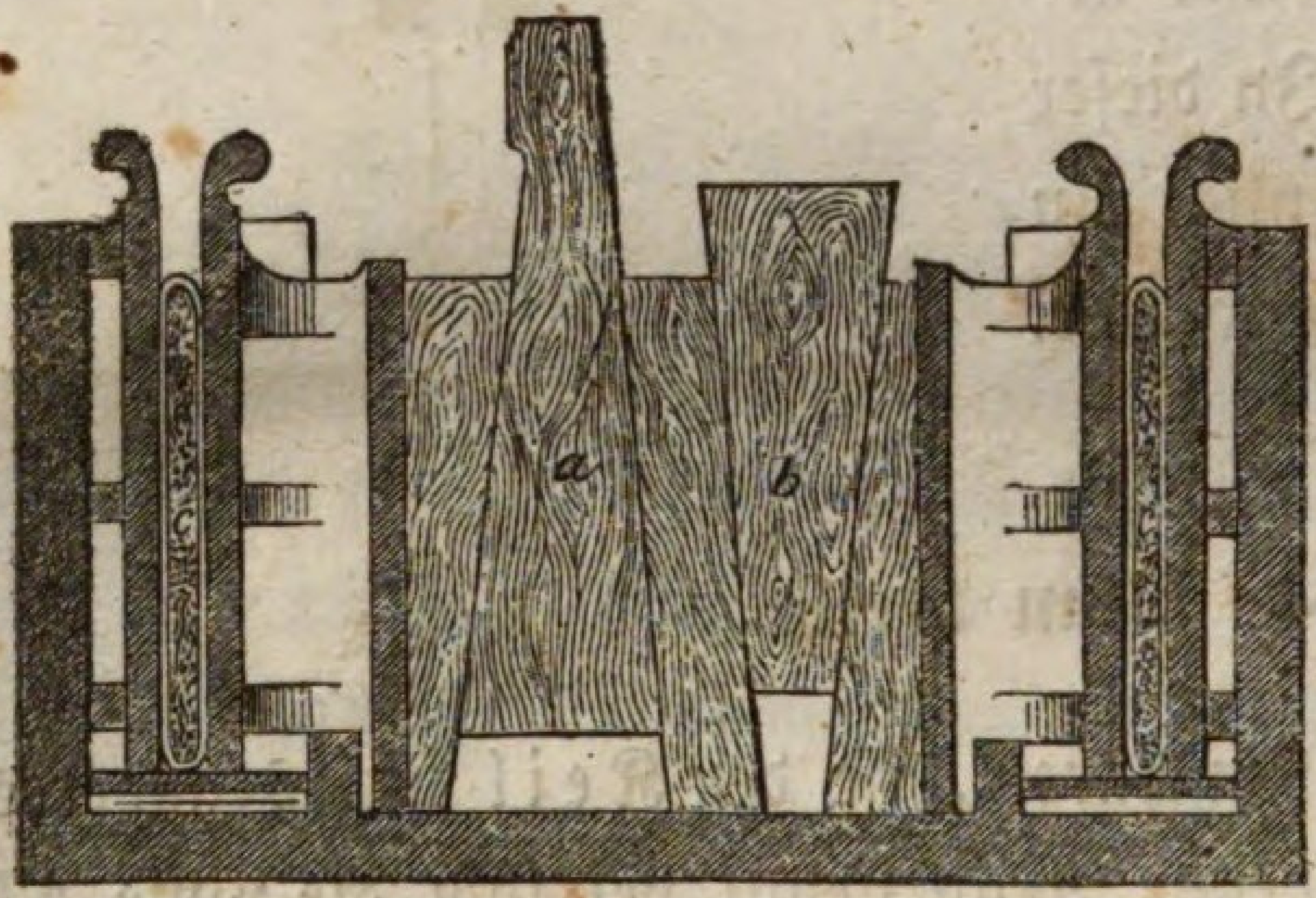


Wird der Keil seiner ganzen Länge nach unter der Last fortgeschoben, so wird diese nur auf die Höhe des Rückens erhoben; es wird also die auf den Rücken wirkende Kraft, welche den Keil fortschiebt, so vielmal kleiner seyn können, als die zu hebende Last, wie der Rücken des Keils kleiner ist, als die Länge desselben, oder der Keil wird unter der Last desto leichter einzutreiben seyn, je spitzer derselbe ist.

62. Keile sind alle schneidenden Instrumente, wie Messer, Meisel u. dergl. Diese werden die Dienste des Schneidens um so vollständiger erfüllen, je spitzer ihr eindringender Keil ist; aber man ist hierbei beschränkt durch die nothwendige Festigkeit des schneidenden Instrumentes; zu scharfe Messer werden ausgebrochen.

Deßhalb gibt man zwar den Messern, welche die höchste Schärfe haben sollen, ohne einen großen Widerstand beim Schneiden zu erfahren, sehr schmal auslaufende Schneiden, wie z. B. den Rasirmessern; bei andern dagegen, welche größere Widerstände zu gewältigen haben, muß man auf diesen spitzen Keil verzichten und stumpfere wählen, um bei dem Messer, dem Beile, oder was es immer ist, das Ausbrechen der Schneide zu vermeiden.

Fig. 43.



63. Eine weitere Anwendung findet der Keil bei den Keilpressen, von welchen die nebenstehende Figur ein Beispiel, eine Oelpresse darstellt. Beim Gebrauche wird zuerst der Keil a niedergeschlagen, worauf der Keil b leicht herausgenommen werden, und der bereits zerriebene Oelsamen in Säcken zwischen die gußeisernen durchlöcherten Preßplatten nach c c gebracht werden kann. Es wird nun der Keil a in die Höhe gehoben und aufgehängt; der Keil b eingesetzt, und durch Stämpel, die man auf ihn fallen läßt, abwärts getrieben, wodurch die Preßplatten, seitwärts gedrückt, das Oel auspressen, das durch die in ihnen angebrachten Löcher auf den Boden des gußeisernen Kastens läuft, welcher die ganze Presse umschließt.

64. Bei der Keilpresse beruht das Halten des eingetriebenen Keils auf der Reibung; ohne diese würde der eingetriebene Keil durch den Druck auf die beiden Seiten desselben, sobald die eintreibende Kraft des Keils aufgehört hat, zurückspringen, was auch bei hinreichend glatten und stumpfen Keilen geschieht. Diese Reibung, welche in der Re=

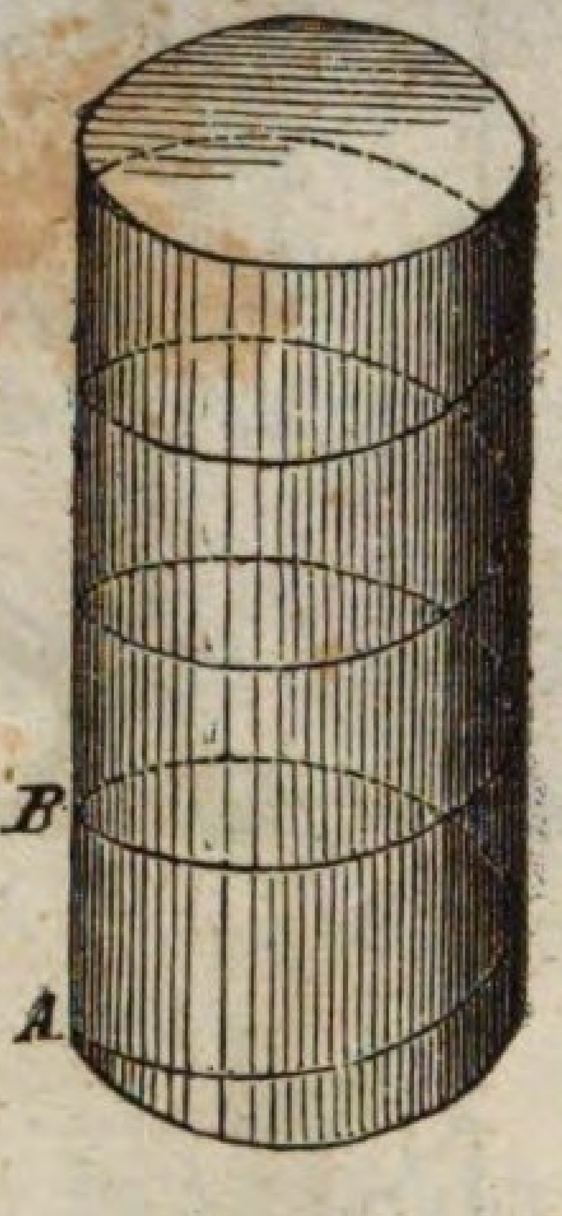
gel bei dem Keile sehr bedeutend ist, macht nun den Keil auch geschickt zum Feststellen von Maschinentheilen, Baustücken und dergleichen, wie dieß z. B. bei dem Hobel vorkommt.

§. 6. Von der Schraube.

65. Eine schiefe Ebene, welche um einen Cylinder gewunden ist, bildet eine Schraube. Eine Wendeltreppe ist ein bekanntes Beispiel einer solchen Schraube.

Die Höhe, auf welche die Schraubenfläche bei einem Umgang um die Säule steigt, AB heißt hierbei die Höhe des Schraubengangs. Wird ein Gewicht über eine solche gewundene schiefe Ebene hinaufgezogen, so wird die Kraft die ganze Länge des Schraubengangs durchlaufen müssen, bis die Last nur durch die Höhe eines Schraubenganges erhoben wird; die erste, die Kraft wird deßhalb auch so vielmal kleiner seyn können, als die Last, wie die Höhe des Schraubengangs kleiner ist, als die Länge desselben.

Fig. 44.



66. In der Regel wird aber die Schraube nicht so gebraucht, wie wir dieß eben betrachteten, sondern man nimmt noch einen zweiten Körper, in welchem die Erhabenheiten der Schraube vertieft ausgearbeitet sind, so daß beide ineinander passen; diese zweite, hohle Schraube heißt die Schraubenmutter, wogegen die zuerst betrachtete volle Schraube die Schraubenspindel heißt.

Fig. 45.

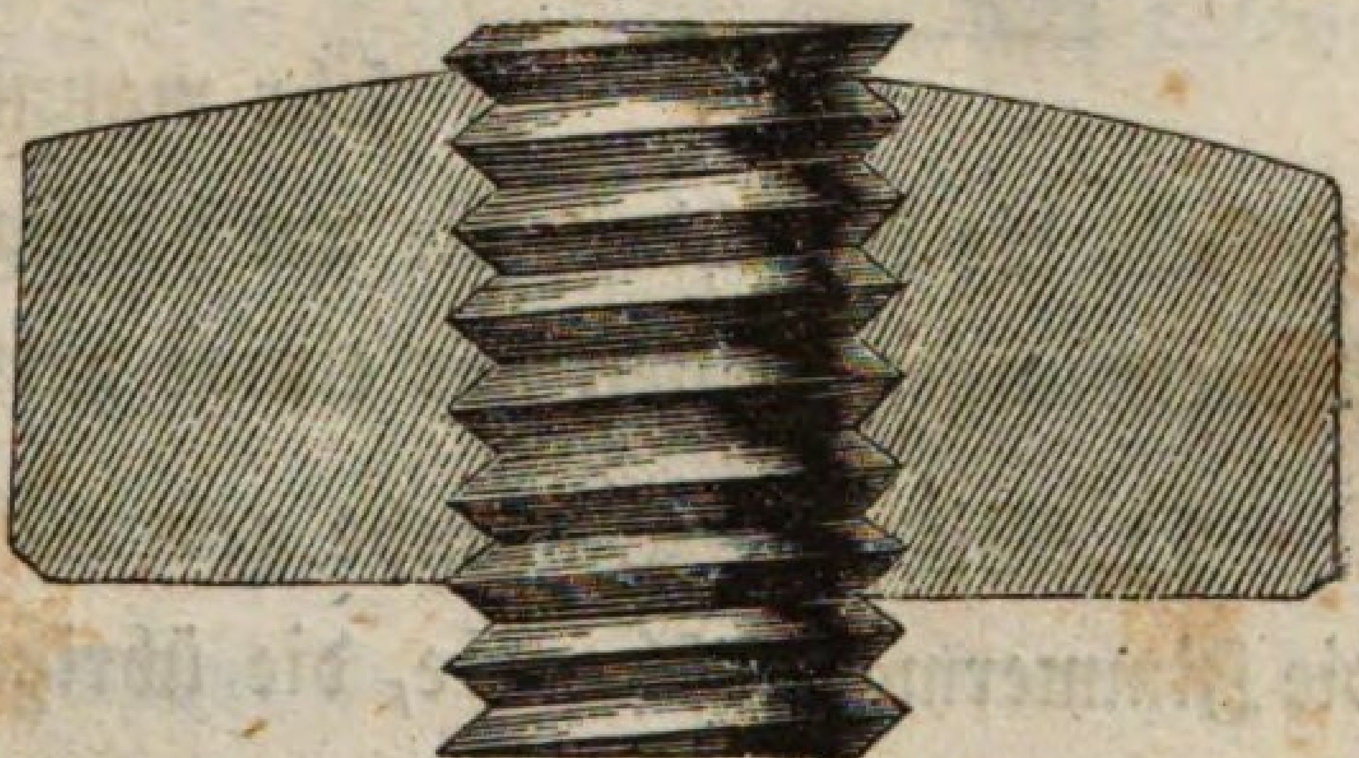
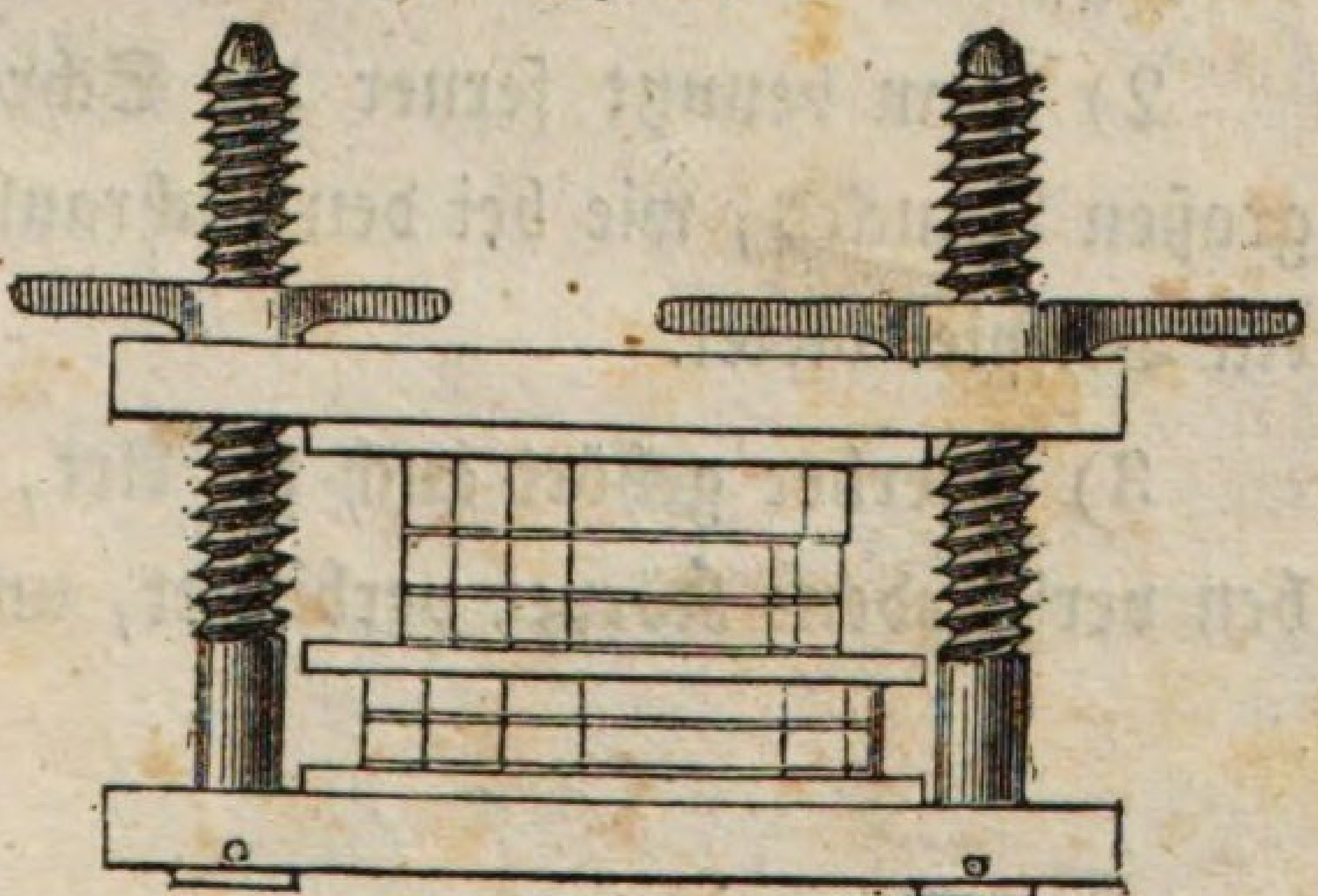


Fig. 46.



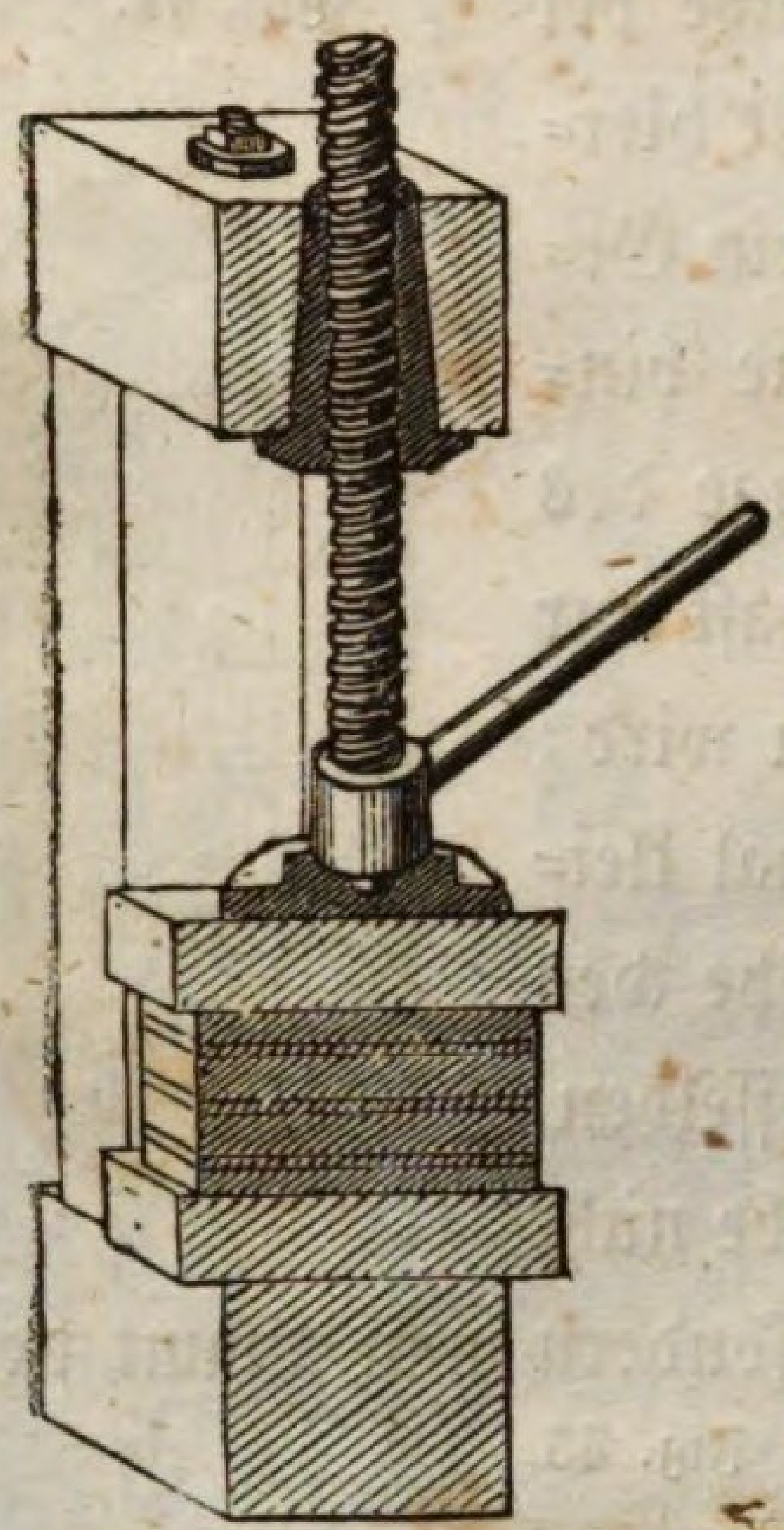
Beim Gebrauche wird nun

1) die Mutter gedreht, und die Spindel bleibt völlig unbeweglich; die Mutter

schiebt sich dann zugleich längs der Spindel fort. Dieß findet z. B. bei den Buchbinderpressen (Fig. 46.) statt.

2) Die Mutter wird gedreht, kann sich aber nicht verschieben; dann wird die Spindel, welche verhindert seyn muß, den Drehungen der Mutter zu folgen, sich durch die Mutter fortschieben, wie dieß z. B. bei den Metallsägen zum Spannen des Sägblattes angewendet wird.

Fig. 47.



3) Wird die Spindel gedreht, und ist die Mutter unbeweglich, so muß sich die Spindel zugleich durch die Mutter fortschieben, wie bei den Schraubenpressen, Prägstöcken, von welchen Fig. 47. eine Presse vorstellt.

4) Endlich kann die Spindel an fortgehender Bewegung gehindert, gedreht werden; dann wird sich die Mutter längs der Spindel hinschieben, wie z. B. bei den Führungsschrauben an den Supports der Drehbänke.

67. Der Gebrauch der Schrauben ist sehr mannigfaltig, und die Schraube ist jedenfalls die Maschine, die am häufigsten vorkommt. Von den vielen Anwendungen wollen wir einige hervorheben:

1) Wird die Schraube gebraucht, Lasten zu erheben, wie z. B. die Zimmermannsschraube, die übrigens jetzt beinahe überall der Winde Platz gemacht hat.

2) Man benutzt ferner die Schraube zur Hervorbringung eines großen Druckes, wie bei den Schraubenpressen, von denen Fig. 47. ein Beispiel bietet.

3) Hierher gehört auch die Art, wie man mit Hilfe der Schrauben verschiedene Körper verbindet, und die Stellschrauben.

Fig. 48.

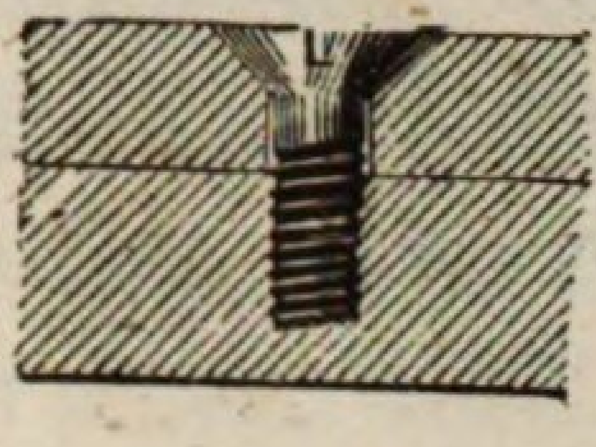


Fig 49.

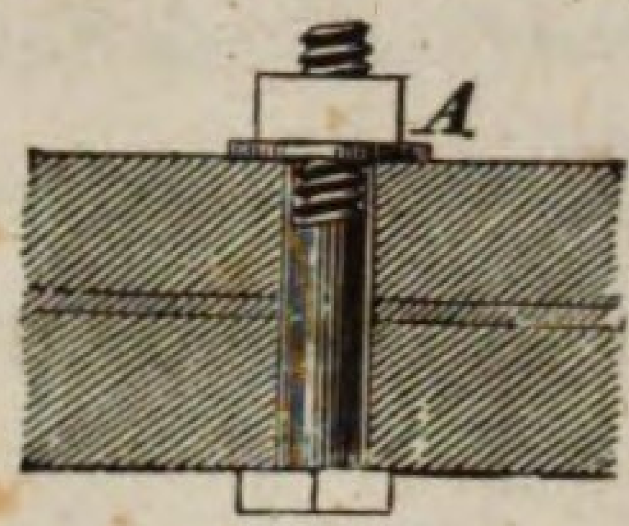
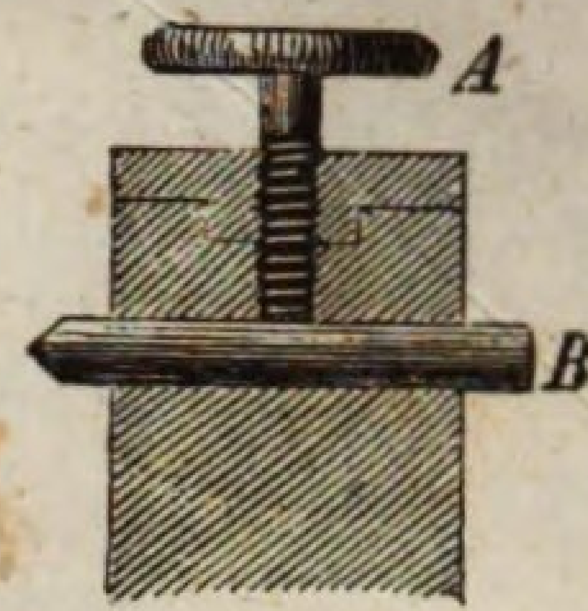


Fig. 50.



Bei Fig. 48 ist die Mutter in dem untern Stücke eingeschnitten; bei Holz sind die Schrauben scharf geschnitten, so daß sich die Spindel ihre Mutter selbst in das Holz einschneidet (Holzschrauben.) Bei Fig. 49 ist A die Mutter, bei Fig. 50 wird durch den Druck der Stellschraube A das Stück B festgehalten.

4) Die Schraube gebraucht man endlich um eine schnellere Bewegung in eine langsamere umzuändern, wovon bei den Bewegungsänderungen im vierten Buche die Rede seyn wird.

68. Die Bewegung der Schraube oder ihrer Mutter geschieht entweder unmittelbar von der Hand, wo dann an der Spindel ein geeigneter Kopf, wie in Fig. 50 vorhanden ist, oder die Mutter eine geeignete Form hat, wie in Fig. 46; oder was der gewöhnliche Fall ist, der zu drehende Theil wird mit einem Hebel, dem S c h r a u b e n s c h l ü s s e l bewegt. Einen solchen Hebel sieht man bei der Presse in Fig. 47; die gewöhnlichen Schraubenschlüssel und Schraubenzieher sind bekannt.

Drittes Buch.

Hindernisse der Bewegung.

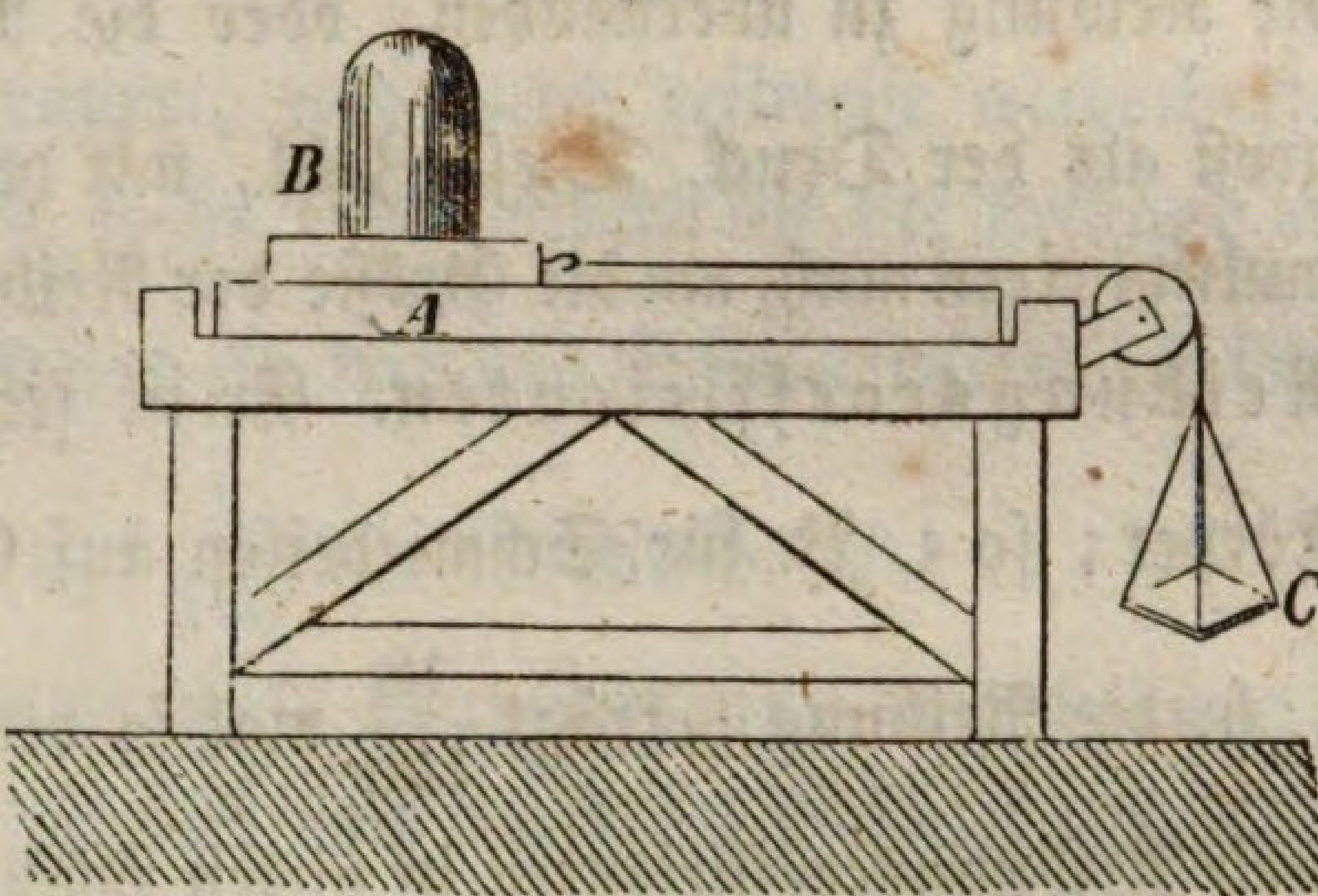
69. Wir haben bisher bei der Bewegung immer nur die bewegende Kraft und die zu gewältigende Last betrachtet; dieser letztern gesellen sich aber bei jeder in der Natur vorkommenden Bewegung, wenigstens so lange wir auf der Erde mit unsern Betrachtungen verweilen, mancherlei Hindernisse der Bewegung, Bewegungswiderstände, zu, von denen wir einige hier näher betrachten wollen, nämlich die Reibung, den Widerstand der Flüssigkeiten gegen die Bewegung in ihnen, und den Widerstand, welcher von nicht vollkommener Biegsamkeit der Seile herrührt. Dabei soll aber sogleich auch aufmerksam gemacht werden, daß die Bewegungswiderstände nicht bloße Uebelstände in der Natur sind; o nein, wir verdanken vielmehr beiden sehr Vieles, ja unser ganzes Dasein würde ohne sie, wenigstens in der Art, wie es jetzt ist, unmöglich seyn. Bedenke nur einer, daß beim vollkommensten Glatteise noch immer Reibung vorhanden ist, welche bei Geschicklichkeit das Gehen noch möglich macht; wie sollten wir uns von der Stelle bewegen, wenn gar keine Reibung vorhanden wäre? Wie wollte man ein Schiff auf dem Wasser bewegen, wenn nicht der Widerstand des Wassers das Ruder aufhielte, und dem Schiffe die Bewegung des Ruders mittheilte, wenn nicht dasselbe, was auf der einen Seite als Widerstand der Luft erscheint, auf der andern als Wind die Segel schwellte und bewegende Kraft würde? Murren wir also nicht über diese sogenannten Bewegungswiderstände, sondern erkennen wir auch hierin dankbar die Weisheit des Schöpfers.

§. 1. Von der Reibung.

70. Legt man auf eine ebene, horizontale Platte eine kleinere ebene Platte, welche durch ihr eigenes Gewicht, und etwa noch durch aufgelegte Gewichte gegen die untere gedrückt wird, so wird eine ge-

wisse Anstrengung erfordert werden, die zweite Platte über die erste fortzuschieben; Gewicht wird hierbei keines erhoben; es ist also nur der Widerstand der Reibung, der gleitenden Reibung, wie man hierbei sagt, welcher überwunden werden muß. Es ist sehr leicht, die Größe der Kraft, welche hierzu erforderlich ist, und damit auch die Größe der Reibung zu messen; man darf hierzu nur, wie in nebenstehender Figur angedeutet ist, durch eine Schnur, die über eine Rolle geht, Gewichte an der Platte ziehen lassen. Diese Gewichte messen die Kraft.

Fig. 51.



Ist z. B. die Platte A glatt abgehobeltes Eichenholz, die bewegliche Platte B ebenso Eichenholz, und ist das Gewicht, das diese Platte auf die untere drückt, 100 Pfd., so wird man in die Wagschale C 34 Pfd. legen müssen, um die Platte B über A hinzuziehen. Es ist also hier 34 Pfd. die Kraft, welche zur Ueberwindung der Reibung erfordert wird, oder wie man sich kürzer ausdrückt, 34 Pfd. ist hier die Größe der Reibung.

Wird die Platte z. B. 4 Fuß weit durch diese 34 Pfund fortgezogen, so werden die 34 Pfund auch 4 Fuß tief sinken, und der zur Ueberwindung der Reibung erforderliche Kraftaufwand, die durch die Reibung verzehrte Arbeit ist hierbei 34 × 4 gleich 136 Fußpfund.

71. Auf die Weise, wie in obigem Beispiele hat der Franzose Coulomb die Gesetze der gleitenden Reibung untersucht, indem er bald die Belastung anders wählte, bald die reibenden Platten von andern Stoffen nahm, und hat dabei gefunden:

1) daß bei großen Belastungen die Größe der reibenden Flächen keinen Einfluß auf die Größe der Reibung hat. Nimmt man z. B. statt der in der vorhergehenden Nummer gebrauchten eichenen Platte B eine kleinere oder eine größere und belastet

wieder jede mit 100 Pfund Gewicht, so wird man jedesmal doch wie dort 34 Pfund als Größe der Reibung finden.

2) Die Reibung wächst in demselben Maaße wie der Druck. Werden also in dem Beispiele der No. 70 statt 100 Pfund 200, dann 300 Pfund auf die Platte gelegt, so wird man in die Wagschale 2 × 34 oder 68 und 3 × 34 oder 102 Pfund legen müssen, um die Reibung zu überwinden, oder die Reibung ist immer $\frac{34}{100}$ mal so groß als der Druck. Diese Zahl, mit der man die Größe des Drucks multipliciren muß, um die Größe der Reibung zu finden, nennt man den Reibungscoefficienten. Er ist sehr verschieden für verschiedene Körper; so z. B. für Schmiedeisen auf Gußeisen ohne Schmiere $\frac{18}{100}$, d. h. die Reibung beträgt $\frac{18}{100}$ mal so viel als der Druck. Man findet diese Reibungscoefficienten in vielen Büchern über Mechanik zusammengestellt, wie unter andern in „Morin's Hilfsbuch des praktischen Mechanikers, deutsch herausgegeben von C. Holtzmann. Zweite Auflage. Carlsruhe bei Groos 1844 Seite 214 u. w.

Hier nur so viel, daß bei allen bei Maschinen vorkommenden sich reibenden Körpern bei gewöhnlicher Schmiere, als Talg, Schweinefett, Oel rc. die Reibung 7 bis 8 Hunderttheile des Drucks beträgt.

3) Als drittes Gesetz über die Reibung hat man gefunden, daß ihre Größe unabhängig ist von der Geschwindigkeit, mit welcher die Körper übereinander bewegt werden.

4) Die Erfahrung hat ferner gezeigt, daß die Reibung im Anfange der Bewegung größer ist, als wenn die Bewegung schon einige Zeit gedauert hat. Will man also einen ruhenden Körper bewegen, so wird hierbei die Reibung einen größeren Kraftaufwand erfordern, als wenn man eine schon bestehende Bewegung erhalten will. Bei dem oben gegebenen Beispiele von der Bewegung zweier Platten von Eichenholz übereinander ist vorausgesetzt, daß die Bewegung bereits begonnen habe; dann wird $\frac{34}{100}$ des Drucks hinreichen, die Bewegung zu erhalten. Soll aber die Bewegung erst beginnnen, so ist dazu eine Kraft von

$\frac{54}{100}$ des Drucks erforderlich, also eine beträchtlich größere als dort, nämlich 54 Pfund statt 34.

72. Sehr wesentlich kann man die Reibung durch zweckmäßige Schmiermittel vermindern. So ist die Reibung bei einem gußeisernen Zapfen, welcher in einem Lager von Bronze sich bewegt, wenn er nur wenig fett ist, $\frac{19}{100}$ des Drucks; wird aber dieser Zapfen mit Olivenöl, Schweinefett oder Talg geschmiert, und durch zeitweise wiederholtes Schmieren immer fett erhalten, so sinkt der Widerstand der Reibung auf $\frac{7}{100}$, und wenn Vorsorge getroffen ist, daß das Schmiermittel sich fortwährend erneuert, sogar bis auf $\frac{5}{100}$ des Drucks herab.

Man sieht leicht wie wichtig diese Verminderung der Reibung in vielen Fällen werden kann. Ich will noch durch ein Beispiel dieß näher beleuchten. Das Wasserrad nebst Zubehör bei dem Blechwalzwerke in Albbruck drückt seine Zapfen mit etwa 60000 Pfund in ihre Lager; wir wollen sehen, wie viel Arbeit bei diesem Rade durch die Reibung aufgezehrt wird.

Der Reibungscoefficient kann bei der nur geringen Fettigkeit, in welcher die Zapfen erhalten werden, zu etwa $\frac{12}{100}$ angenommen werden; die Reibung oder eigentlich die Kraft, welche zu ihrer Ueberwindung erfordert wird, beträgt daher $\frac{12}{100} \times 60000 = 7200$ Pfd. Der Weg, durch den diese Kraft bei einer Umdrehung des Rades fortgeführt werden muß, ist so groß, wie der Umfang des Zapfens, oder da dieser 12 bad. Zoll Durchmesser hat, gleich $\frac{22 \times 12}{7}$ Zoll, oder 3,8 Fuß beinahe. Die bei einer Umdrehung des Rades durch die Reibung verzehrte Arbeit ist daher $7200 \times 3{,}8 = 27360$ Fußpfd.

Das Rad dreht sich beim gewöhnlichen Gange in einer Minute nahe fünfmal herum, also in 12 Secunden einmal, und die in einer Secunde durch die Reibung verlorne Arbeit beträgt daher den zwölften Theil von 27360 oder 2280 Fußpfund, oder da 500 Fußpfund in

einer Secunde eine Pferdskraft ist, nicht weniger als etwa $4\frac{1}{2}$ Pferdskräfte.

Könnte man die Zapfen dieses Rades — sie sind von Gußeisen und laufen in Lagern von Bronze — in fortwährend erneuerter Schmiere erhalten, so würde die Reibung sich im Verhältnisse 12 zu 5 vermindern, und also nur noch $\frac{5}{12}$ von $4\frac{1}{2}$ Pferdskräften, d. h. nicht ganz 2 an der Kraft des Rades durch die Reibung verloren gehen, während, wenn die Zapfen nicht geschmiert, nur noch wenig fett sind, die verlorne Arbeit auf $\frac{19}{12}$ mal $4\frac{1}{2}$, das ist, etwas mehr als 7 Pferdskräfte steigt.

73. Auf die durch die Zapfenreibung verlorne Arbeit haben noch den wesentlichsten Einfluß: Die Geschwindigkeit der Umdrehung und die Dicke der Zapfen. Läßt man das eben betrachtete Rad statt in 12 Secunden jetzt in 6 Secunden sich umdrehen, so würden die bei einem Umlaufe verlornen 27360 Fußpfund jetzt in der halben Zeit, und in einer Secunde jetzt doppelt so viel verloren gehen, als vorhin, d. h. statt daß die durch die Zapfenreibung verlorne Arbeit oben die von $4\frac{1}{2}$ Pferdskräften war, werden jetzt 9 Pferdskräfte verloren.

Man sieht daher, wie man um so mehr Acht auf sorgfältige Verminderung der Reibung haben müsse, je schneller die Bewegung ist, weßhalb man bei allen sehr schnellen Bewegungen von Maschinentheilen Vorrichtungen anbringt, durch welche diese fortwährend in der Schmiere erhalten werden, was um so nothwendiger ist, als bei solchen schnellen Bewegungen die sich reibenden Theile sich erhitzen, wodurch die Schmiere sehr schnell unbrauchbar wird, und die sich berührenden Körper einander stark angreifen.

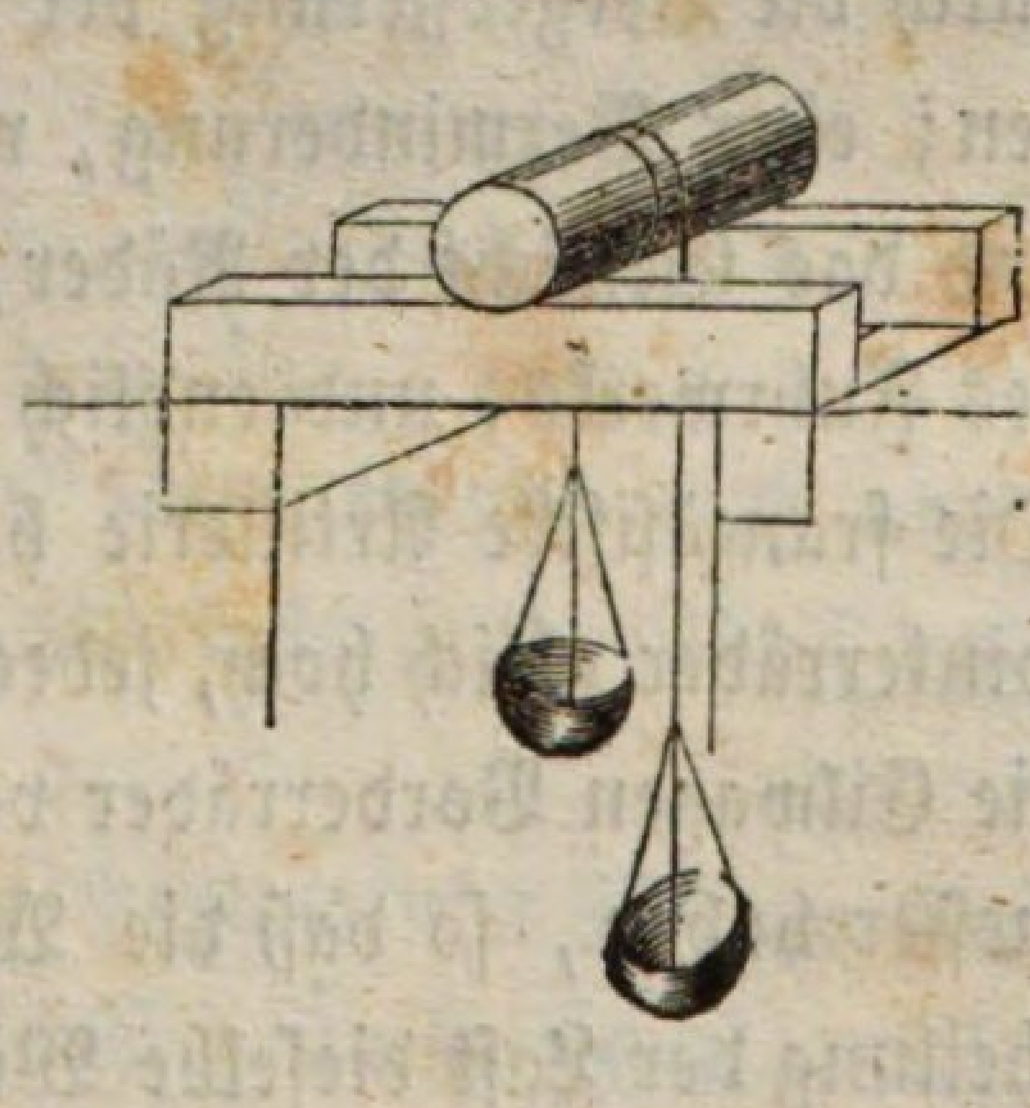
74. Der Einfluß der Dicke des Zapfens ist eben so leicht ersichtlich; sinkt die Dicke des Zapfens auf die Hälfte herab, so wird auch sein Umfang nur noch halb so groß seyn, als früher, damit der Weg der Reibung und also die verlorne Arbeit. Hätte man also der Welle des oben betrachteten Rades Zapfen von 6 Zoll Durchmesser statt solcher von 12 Zoll geben können, so würde man, statt $4\frac{1}{2}$ Pferdskräfte zur Ueberwindung der Reibung verwenden zu müssen, unter sonst gleichen Umständen nur $2\frac{1}{4}$ gebraucht haben. Man muß also die Zapfen der

Räder immer so dünn machen, als es ihre Festigkeit erlaubt, und darauf um so genauer sehen, je schneller die Räder umlaufen. Dann aber muß man auch um so mehr auf gutes Schmieren halten, da nicht geschmierte Zapfen sich stark abnutzen, und also bald zu schwach werden.

Bei den Fuhrwerken, wo alles angewendet werden muß, um möglichst wenig an der vorhandenen Zugkraft durch Nebenwiderstände zu verlieren, hat man deßhalb schon lange die Zapfen der Achsen so dünn wie möglich genommen, und nimmt das beste Eisen zu diesen Achsen, um bei den dünneren Zapfen doch noch die gehörige Haltbarkeit zu haben.

75. Außer der bisher betrachteten gleitenden Reibung müssen wir unsere Aufmerksamkeit auch der rollenden zuwenden. Rollt ein Rad über eine Straße hin, so reibt sich auch hier noch das Rad an der Straße, aber bekanntlich viel weniger, als wenn wir das Rad hindern, sich zu drehen, es sperren, und auf diese Weise es über die Straße gleitend fortziehen. Im ersten Falle hat man rollende, im zweiten Falle gleitende Reibung zu überwinden, im ersten Falle heben sich die Unebenheiten des Rades mehr aus denen der Straße heraus, während sich beide beim Gleiten abdrücken. Ob in der That der eine Widerstand von anderer Art sey, als der andere, wollen wir hier nicht untersuchen, sondern wollen statt dessen uns einfach durch die Erfahrung auch über die rollende Reibung belehren lassen, wie wir dieß bei der gleitenden gethan haben, wobei wir wieder denselben Coulomb als Führer haben.

Fig. 52.



Coulomb legte unter anderem auf horizontale Unterlagen von Eichenholz Walzen von Guajak, schlang um diese Walzen eine Schnur, welche an beiden Enden Wagschalen trug; er legte nun in jede Wagschale 50 Pfd., so daß die Walze mit 100 Pfd. gegen ihre Unterlage gepreßt wurde, und nun legte er langsam in die eine Wagschale so lange Gewichte zu, bis die Walze anfing, sich zu drehen. Er mußte $1^6/_{10}$ Pfd. zulegen. Ohne Reibung hätte die Walze bei dem geringsten Ueberge-

wichte auf einer Seite sich drehen müssen, so aber fing dieß erst bei $1\frac{6}{10}$ Pfd. an, und $1\frac{6}{10}$ Pfd. war also hier zur Ueberwindung der rollenden Reibung nothwendig.

Um zu untersuchen, ob auch hier die Reibung in demselben Verhältniß mit dem Drucke wächst, belastete Coulomb sofort die Walze mit dem 5fachen und mit dem 10fachen Gewichte, mit 500 und mit 1000 Pfd., und nun fand er, daß er auch das 5- und das 10fache Uebergewicht zulegen mußte, um das Rollen hervorzubringen. Es wächst also auch bei dem Rollen die Reibung in demselben Verhältnisse, wie der Druck.

Coulomb hat weiter die Frage untersucht, welchen Einfluß der Durchmesser des rollenden Körpers auf die Reibung hat, wozu er nacheinander Walzen von verschiedener Dicke denselben Versuchen unterwarf. Er fand hierbei, daß die Reibung auf die Hälfte, den dritten Theil ihrer früheren Größe herabsank, wenn der Durchmesser der Walze auf's Doppelte, Dreifache vergrößert würde. Die rollende Reibung nimmt also in demselben Verhältnisse ab, wie der Durchmesser des rollenden Körpers zunimmt, oder die Reibung ist dem Durchmesser des rollenden Körpers umgekehrt proportional, wie die Mathematiker sagen würden.

76. Man sieht leicht die Wichtigkeit dieses Satzes ein. Bei jedem Räder-Fuhrwerke ist die rollende Reibung am Umfange des Rades der bedeutendste Widerstand; dieser Widerstand kann, wie wir gesehen haben, durch die Vergrößerung der Räder in gleichem Maaße vermindert werden; eine Verminderung, welcher nur die Rücksicht auf die Festigkeit und das Gewicht der Räder, auf die Wendbarkeit und Standfähigkeit des Fuhrwerks, und endlich die Rücksicht der Schönheit Gränzen setzt. Die französische Artillerie hat bei ihren Geschützen die Vorder- und Hinterräder gleich hoch, jedes von 5,2 Fuß Durchmesser, wogegen z. B. die Eilwagen Vorderräder von 3 und Hinterräder von 4,7 Fuß Durchmesser haben, so daß die Wirkung beider zusammen bei richtiger Vertheilung der Last dieselbe Wirkung, wie Räder von 3,85 Fuß Durchmesser haben. Die für die Geschütze erforderliche Zugkraft hat Morin bei sehr guter Schotterstraße für den Schritt gleich $\frac{1}{63}$ der Belastung

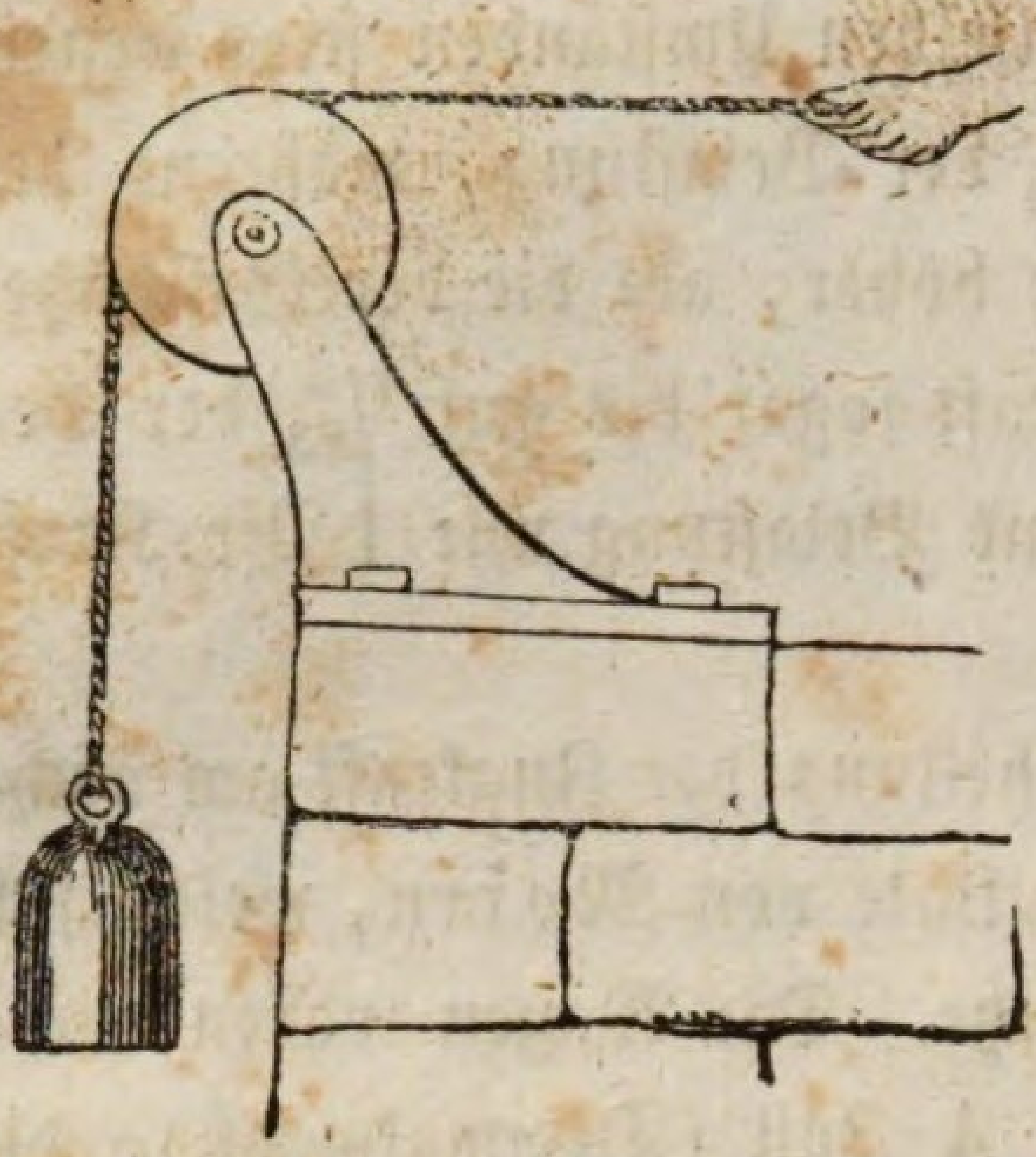
gefunden; für Eilwagen aber unter denselben Umständen stieg wegen der kleineren Räder diese Kraft auf $^{1}/_{48}$ der Belastung, während bei zweirädrigen Karren, deren Räder noch höher, als die der Geschütze, nämlich 6,7 Fuß hoch waren, die Zugkraft sogar bis auf $^{1}/_{83}$ der Belastung sank, so daß man für je 83 Pfund Belastung nur 1 Pfd. Kraft brauchte.

77. Bei Frachtfuhren ist die Beurtheilung der Zugkraft am wichtigsten, weßhalb ich hier einige der Resultate von M o r i n, welche sich auf das Frachtfuhrwesen beziehen, hersetze. Die Wagen waren vierräderig; die Felgenbreite war 3,3 bis 4 Zoll (Decimalmaaß), die Höhe beider Räder (eines Vorder- und eines Hinterrades) zusammen war 8,34 Fuß. Für diese Wagen, welche mit unsern gewöhnlichen Frachtwagen hierin nahe übereinstimmen, war die erforderliche Zugkraft auf horizontaler Straße

auf einem festen Erddamme	$^{1}/_{27}$	der Belastung.
dieser mit einer Kieslage von ungefähr 1 Zoll Höhe	$^{1}/_{12}$	" "
von 2 Zoll Höhe	$^{1}/_{10}$	" "
auf sehr guter Schotterstraße . . .	$^{1}/_{50}$	" "
diese etwas feucht mit einigen freiliegenden Kieseln	$^{1}/_{35}$	" "
diese hart mit Geleisen und Koth . .	$^{1}/_{22}$	" "
diese sehr schlecht mit tiefen Geleisen, dickem Koth, der Grund hart und rauh .	$^{1}/_{13}$	" "
auf sehr gutem Pflaster	$^{1}/_{65}$	" "
auf geringerem	$^{1}/_{46}$	" "
auf einer Brückenbahn von Holz . .	$^{1}/_{43}$	" "

Unsere Güterfuhrleute laden 25 bis 30 Centner und auch noch mehr auf 1 Pferd, wozu noch der dieses Pferd treffende Theil des Gewichtes des Wagens kommt.

Nimmt man 30 Centner, so kommt bei horizontaler Straße auf das Pferd, wenn die Straße eine sehr gute Schotterstraße ist, nach den Erfahrungen von Morin $^{1}/_{50}$ dieser Last als Zugkraft, das ist $^{3}/_{5}$ Centner oder 60 Pfd.; das Pferd muß sich so anstrengen, als



sollte es 60 Pfd., die an einer Schnur über eine Rolle hängen, vertical aufwärts ziehen. Wird die Straße schlechter, so mehrt sich die Anstrengung des Pferdes bis auf $1/_{35}$ von 30 Ctr., das ist 87 Pfd., und bei sehr schlechter Schotterstraße bis auf $1/_{13}$ von 3000 Pfd., das ist 231 Pfd., eine Anstrengung, welche das Pferd nicht lange aushält, und welche jedenfalls schon ein sehr starkes Pferd verlangt.

78. In neuerer Zeit ist man bekanntlich in der Verbesserung der Straßen dadurch schnell vorangeschritten, daß man die Fahrgeleise von Eisen nimmt, Eisenbahnen baut. Auch auf ihnen wächst die erforderliche Zugkraft in demselben Verhältnisse, wie die Last, und nimmt ab, wie die Durchmesser der Räder zunehmen. Den Rädern hat man aber hier kleinere Dimensionen gegeben, weil man, um mehr Raum für die Last, die Personen oder die Güter zu erhalten, die Wagen über die Räder hinausgehen läßt, und also mit den Wagen zu weit in die Höhe müßte, wenn man höhere Räder anwenden wollte. Bei den gewöhnlich gebrauchten Rädern ist der Widerstand, der von der Reibung herrührt, nach den Versuchen von de Pambour 2,69 Pfd. für 1000 Pfd. Gewicht und Belastung des Wagens, oder $1/_{370}$ der Last. Hiernach kann somit ein Pferd, das im Schritte 112 Pfd. Kraft ganz gut ausübt, auf einer Eisenbahn eine Last von 370×112 Pfd., d. i. 41440 Pfd. oder 414 Centner fortziehen, mit nicht mehr Anstrengung, als es bedarf, um auf einer Kunststraße in immer noch gutem Zustande $35 \times 112 = 3926$ Pfd. oder 40 Centner fortzuschaffen. Allerdings würden jene 414 Centner nicht mit der Windesschnelle fortgeführt werden, welche wir an den durch Locomotive geführten Eisenbahnzügen zu sehen gewohnt sind, aber doch im Schritte etwa $3^1/_2$ Fuß weit in der Secunde.

Wie es sich mit dem Anziehen einer so großen Masse verhält, haben wir in Nro. 18. untersucht. Dazu müßte jedenfalls noch eine weitere

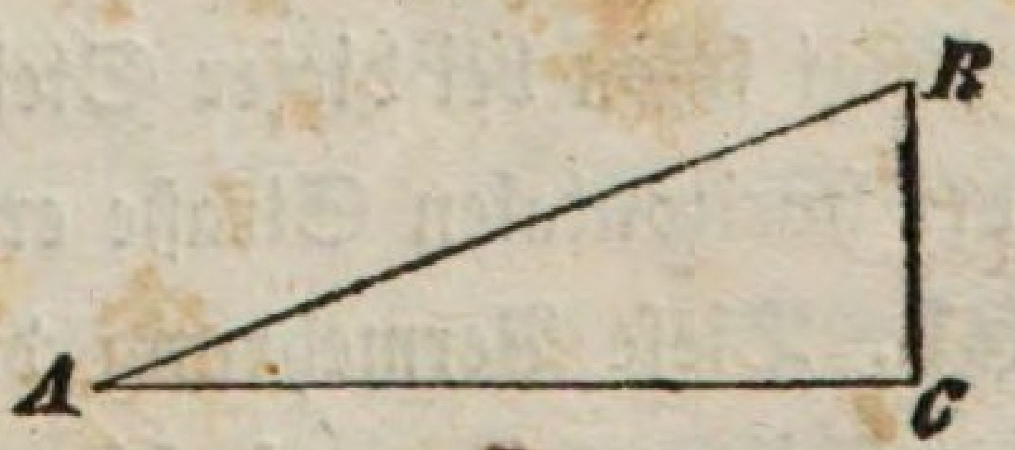
Kraft benützt werden, die aber an den Stationsplätzen immer zu haben wäre.

In den Bergwerken hat man längst Bahnen von Holz, auf welchen der Bergmann die Erze in dem sogenannten Hunde fördert. Die leichteren Steinkohlen machten größere Hunde erforderlich, welche selbst wieder eine genauere Legung der Bahn, des Gestränges zur Folge hatten. Dieses Gestränge wurde endlich mit eisernen Stangen beschlagen, und so war die Eisenbahn fertig, welche nun seit Ende des vorigen Jahrhunderts langsam auch über Tage angewendet wurde, zuerst immer sich mit dem Zuge des Pferdes begnügend, bis erst in neuerer Zeit die Dampfmaschine durch die Schnelligkeit, welche hierdurch zu erreichen war, überall, wo nicht Waarenverkehr allein stattfindet, die Pferdekraft verdrängte.

79. Werfen wir zuletzt noch einen Blick auf die allmählige Vervollkommnung dieser Transportmittel.

Zuerst wurden die Lasten getragen; bei großen untheilbaren Gegenständen aber trat bald die Schleife als Fuhrwerk auf. Um einen Centner mittelst der Schleife auf ebener Straße fortzuschaffen, ist bei guter Beschaffenheit der Straße gewiß eine Kraft von 50 Pfd. erforderlich. Bald auch wurde die gleitende Reibung durch Unterlegen von Rollen, kleinen Rädern vermieden. Solche Rollen mit einem Durchmesser von 6 bis 8 Zoll vermindern die zur Bewegung erforderliche Kraft für einen Centner bis auf ungefähr 25 Pfd.; hohe Räder, die aber erst viel später eingeführt wurden, wie wir oben gesehen haben bis auf 2 Pfd., und endlich die bis jetzt angewendete Verbesserung der Bahnen bis ungefähr auf $\frac{1}{3}$ Pfd., so daß man jetzt mit derselben Kraft durch immer weiter gehende Verbesserung des Fuhrwerks und der Bahn 350mal so viel leisten kann, als früher.

Fig. 53.



80. Betrachten wir nun die Kraft, welche auf geneigten Straßen zum Zug erforderlich ist. Eine solche sey AB; AC horizontal und BC die Steigung, welche gewöhnlich in Procenten von AC angegeben wird. Die schiefe Ebene AB der

gewöhnlich vorkommenden Straßen ist so wenig geneigt, daß man, ohne einen großen Fehler zu begehen, die Längen von AB und von AC verwechseln kann, was in dem folgenden zuweilen geschehen wird.

Soll nun eine Last, ein Wagen von A bis B gezogen werden, so hat man zweierlei Arbeit auszuführen; es muß nämlich erstens diese Last um das Stück BC erhoben, und zweitens die Reibung auf der Strecke AB überwunden werden.

Soll z. B. eine Pferdslast, wie wir sie oben annahmen, 30 Centner auf einer Straße von 5 Procent Steigung hinaufgefahren werden, so hat man, wenn AC = 100 Fuß ist, BC = 5 Fuß,

1) die 30 Centner 50 Fuß hoch zu erheben;

Arbeit gleich $3000 \times 5 = 15000$ Fußpfund;

2) die Reibung durch AB gleich 100 Fuß zu überwinden.

Diese Reibung beträgt bei ganz guter Schotterstraße $1/_{50}$ der Belastung = 60 Pfd., welcher Widerstand durch 100 Fuß zu gewältigen die Arbeit (Nro. 70.)

$$60 \times 100 = 6000 \text{ Fußpfund}$$

ausmacht.

Die zu leistende Arbeit ist also zusammen 21000 Fußpfund. Die ziehende Kraft kommt während dieser Arbeit von A bis B, 100 Fuß weit; um die Arbeit 21000 Fußpfund zu leisten, muß die Kraft gleich dem 100sten Theile von 21000 oder gleich 210 Pfd. seyn.

Auf horizontaler Straße war die erforderliche Kraft nur 60 Pfd.; zum Emporziehen der Last sind 150 Pfd. erforderlich, das ist $5/_{100}$ der Last selbst.

Eine Steigung von 5 Procent ist für eine Gebirgsstraße noch sehr gering, und erst in neuerer Zeit hat man angefangen, bei solchen Straßen größere Steigungen zu vermeiden, welche bei älteren sogenannten Kunststraßen bis zu 15 und 20 Procent vorkommen; und doch steigt schon bei dieser Steigung von 5 Procent die Kraft, welche auf der horizontalen Straße erforderlich war, auf das $3^1/_2$fache.

81. Diese Vermehrung der erforderlichen Zugkraft auf Steigen wächst übrigens in um so schnellerem Verhältnisse, je besser die Straße ist, oder was dasselbe sagt, je schlechter die Straße ist, desto weniger

bedeutend ist die Kraft zur Erhebung der Last gegen die Kraft, welche zur Ueberwindung der Reibung erforderlich ist.

Behalten wir nun, die Größe dieser Aenderung zu berechnen, die Steigung der Straße mit 5 Procent bei, so ist, die Straße mag seyn, welche sie will, zur Erhebung der Last von 30 Centnern immer die Kraft $^{5}/_{100} \times 3000$ Pfd. $= 150$ Pfd. erforderlich.

Ist nun die Straße eine sehr schlechte, so beträgt die Reibung $^{1}/_{13}$ der Last, d. i. $^{1}/_{13} \times 300 = 231$ Pfd., und zur Fortbewegung des Wagens ist auf dieser Straße im Ganzen die Kraft $231 + 150 = 381$ Pfd. erforderlich; auf der Steige also nur $1^{6}/_{10}$mal so viel, als auf horizontaler Straße von gleich schlechter Beschaffenheit.

Auf einer Eisenbahn hat man zur Fortschaffung von 3000 Pfd. Last nur $^{1}/_{370}$ dieser Last oder 8,1 Pfd. Kraft nothwendig, wenn diese horizontal geführt ist. Wäre dagegen die Steigung 5 Procent, so würde diese Kraft auf $8 + 150 = 158$ Pfd., oder auf das 20fache beinahe ihrer früheren Größe anwachsen.

Man sieht leicht ein, welche Unannehmlichkeiten eine solche Vermehrung der geforderten Zugkraft mit sich führt. Hat man auf der horizontalen Bahn ein Pferd bis zu seiner mittleren Zugkraft belastet, so kann man ihm wohl auf kürzere Strecken die doppelte Anstrengung zumuthen; um aber die 20fache Kraft zu erhalten, müßte man noch 9 Pferde auf jenes eine vorspannen, von denen jedes die gleiche Kraft zu äußern hätte, wie jenes. Eisenbahnen hat man daher auch nie eine Steigung von 5 Procenten gegeben.

82. Bei einer Straßenanlage, die eine Höhe erreichen soll, wird nach dem Vorstehenden die zu gebende Steigung wesentlich von der Güte der Straße abhängen. Daß man die größstmögliche Steigung gibt, erfordert in den meisten Fällen die Kürze des Wegs; daß man nicht zuviel gibt, die so sehr auf Verminderung der Fracht einwirkende Umgehung der Nothwendigkeit des Vorspanns. Nimmt man an, es könne ein Pferd auf Steigen die doppelte Kraft äußern von der, welche man gewöhnlich in Anspruch nimmt, so findet man, daß man bis zu folgenden Steigungen gehen dürfe, ohne Vorspann nöthig zu machen.

Bei Vicinalwegen . .	Reibung	$^1/_{12}$,	Steigung	$8^1/_3$	Procent.
„ guter Schotterstraße	„	$^1/_{35}$,	„	3	„
„ Eisenbahnen . . ,	„	$^1/_{370}$;	„	$^1/_4$	„

Auf kürzere Strecken kann man auch die 3fache Kraft in Anspruch nehmen, und dann werden die zu gebenden Steigungen 2mal so groß, als eben angegeben.

83. Beim Abwärtsfahren hilft das Sinken der Last zur Bewegung, zur Ueberwindung der Reibung.

Geht ein Wagen von 3000 Pfd. Gewicht auf einer schlechten Straße (Reibung $^1/_{12}$), welche 4 Procent Steigung hat, abwärts, so wird auf 100 Fuß, welche er fortgezogen wird, die Last um 4 Fuß gesunken seyn, wodurch eine Arbeit von $3000 \times 4 = 12000$ Fußpfund geleistet werden kann. Die Reibung beträgt $^{13000}/_{12} = 250$ Pfd.; dieser Widerstand ist durch 100 Fuß fortgeführt, also die geleistete Arbeit $250 \times 100 = 25000$ Fußpfund. Werden davon obige 12000 abgezogen, so bleiben als durch die Zugkraft zu leisten 13000 Fußpfund, welche, da die Zugkraft einen Weg von 100 Fuß durchlaufen hat, eine Kraft von $^{13000}/_{100} = 130$ Pfd. in Anspruch nehmen.

Wird das Gefäll der Straße so groß, daß die sinkende Last die Arbeit zur Ueberwindung vollständig liefert, so ist eine besondere Zugkraft abwärts nicht mehr erforderlich, der Wagen fängt von selbst an abwärts zu laufen. Bei obiger Straße ist dieß der Fall, wenn die 3000 Fuß auf 100 Fuß Länge der Straße so tief sinken, daß hierdurch 25000 Fußpfund Arbeit geleistet werden kann. Diese Tiefe ist $^{25000}/_{3000} = 8^1/_3$ Fuß, oder bei $8^1/_3$ Procent Gefälle fängt ein Wagen auf dieser Straße von selbst an hinab zu rollen. Bei noch größeren muß der Wagen beim Hinabfahren aufgehalten werden.

§. 2. Von dem Widerstande der Flüssigkeiten gegen Bewegung in ihnen.

84. Wird ein Schiff in einem ruhigen Wasser bewegt, so staut sich das Wasser an dem Vordertheile des Schiffs, während an dem Hintertheile das Wasser etwas hinter dem Schiffe zurückbleibt, und dort unter den Wasserspiegel zurücksinkt. Dadurch entsteht auf der

Vorderseite des Schiffs ein Druck des Wassers gegen das Schiff, dem auf der Rückseite ein gleicher Druck nicht entgegensteht, und welcher somit die Bewegung des Schiffes nach vornen hindert. Zu dem kommt, daß den Wassertheilchen an der Vorderseite des Schiffs die Geschwindigkeit des Schiffs selbst mitgetheilt werden muß, was eine weitere Arbeit bei der Bewegung des Schiffes veranlaßt.

Das Ansteigen des Wassers gegen eine bewegte Fläche, oder was dasselbe ist, des fließenden Wassers gegen eine ruhende Fläche geschieht, wenn das Wasser keinen Seitenausweg hat, bis zu der Höhe, von welcher es herabsinken müßte, um die Geschwindigkeit des Wassers im einen, oder der bewegten Fläche im andern Falle zu erlangen. Wie diese Höhe gefunden werden kann, haben wir in Nro. 17. gesehen. Hier nur so viel, daß diese Höhe wächst, wie die Geschwindigkeit mit sich selbst vervielfacht, oder in der Ausdrucksweise der Mathematik, diese Höhe ist dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional.

Der Druck auf die Vorderfläche des Schiffs wird somit auch im Verhältnisse mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wachsen; er wird außerdem um so größer seyn, je größer die Fläche ist, auf welche dieser Druck ausgeübt, je größer der Querschnitt des Schiffs ist, diesen rechtwinklich auf die Richtung der Bewegung gemessen.

Die Arbeit, welche zur Ertheilung einer bestimmten Geschwindigkeit erforderlich ist, ist, wie wir in Nro. 18. gesehen haben, ebenfalls dem Quadrate dieser Geschwindigkeit proportional, und wächst außerdem, wie die Masse, welche auf diese Weise bewegt werden soll. Diese Masse ist aber in demselben Verhältnisse größer, in welchem der Querschnitt des Schiffs und die Geschwindigkeit desselben wächst. Die Kraft, welche zur Hervorbringung dieser Geschwindigkeit der Wassertheile erfordert wird, durchläuft den durch die Geschwindigkeit angegebenen Weg, und verhält sich also auch, wie der Querschnitt des Schiffs und wie das Quadrat der Geschwindigkeit desselben, wie dieß bei dem Drucke des Wassers auf das Schiff auch der Fall ist. Man kann also beide Theile des Widerstandes zusammennehmen und sagen: **Die Kraft, welche zur Fortbewegung eines Schiffes erforderlich ist, wächst unter sonst gleichen Umständen, wie der Quer-**

schnitt des Schiffes und das Quadrat der Geschwindigkeit desselben.

Man hat diesen Satz durch die Erfahrung bestätigt, wenigstens für nicht sehr große Geschwindigkeiten und für Geschwindigkeiten, welche wenigstens 2 Fuß in der Secunde überschritten. Für sehr kleine Geschwindigkeiten macht sich das Losreißen der Wassertheile noch bemerklich, und für sehr große Geschwindigkeiten scheinen noch andere Umstände auf den Widerstand Einfluß zu haben.

Von den vielen hierher gehörigen Versuchen will ich nur einen von den Versuchen anführen, welche James Walker im Jahr 1827 mit zwei Booten auf den Ostindien-Docks (dem großen Hafen zur Aufnahme der aus Ostindien kommenden Schiffe) anstellte. Bei dem ersten Boote, das an der Oberfläche des Wassers $18\frac{1}{2}$ Fuß lang, 6 Fuß breit und 2 Fuß tief eingetaucht war, wobei der Querschnitt des eingetauchten Theils 9 Quadratfuß war, bestand die Belastung in drei Personen und 42 Centnern Ballast. Als dieses Boot mit einer Geschwindigkeit von 3,77 Fuß fortgezogen wurde, war die erforderliche Ziehkraft 12 Pfund. Ein anderes Mal wurde das Boot mit 4,26 Fuß Geschwindigkeit fortgezogen. Diese Geschwindigkeit ist 1,13mal größer, als die erste; nach unserm Satze sollte also die Zugkraft $1,13 \times 1,31 = 1,27$mal so groß werden, als im ersten Falle, also $1,27 \times 12 = 15\frac{1}{4}$ Pfd. Der Versuch ergab die Zugkraft $15\frac{3}{4}$ Pfd., was nahe genug übereinstimmt. Auf ähnliche Weise wurden noch mehrere Versuche angestellt, welche auf gleiche Weise den oben aufgestellten Satz bestätigten.

Geht das Schiff gegen fließendes Wasser, zu Berg, so ist es dasselbe, als würde das Schiff mit seiner Geschwindigkeit mehr der Geschwindigkeit des Wassers in ruhigem Wasser bewegt; geht das Schiff stromabwärts, zu Thal, so zieht man die Geschwindigkeit des Wassers von der Geschwindigkeit des Schiffs ab, und nimmt nur den Rest als die Geschwindigkeit der Bewegung in Rechnung.

85. v. Gerstner gibt an, daß man in England auf ein mittleres Pferd 24 Tonnen Last nebst 10 Tonnen Gewicht des Schiffes auf einem Canale mit einer Geschwindigkeit von $2\frac{1}{2}$ englischen Mei-

len in der Stunde rechne. Nach unsern Maaßen gibt dieß für ein Pferd 480 Centner Last und 240 Centner Gewicht des Schiffes, zusammen 720 Centner mit einer Geschwindigkeit von $3^7/_{10}$ Fuß in der Secunde, oder nahe $^8/_9$ Wegstunden in 1 Zeitstunde. Sollte nun dieses Schiff mit der doppelten, dreifachen Geschwindigkeit bewegt werden, so würde die Kraft auf das 4- und das 9fache steigen müssen.

Die Kraft eines Pferdes kann man bei der Geschwindigkeit von $3^7/_{10}$ Fuß zu etwa 120 Pfd. annehmen, und mit dieser Kraft wird das obige Schiff bewegt. Um die 720 Centner einen Fuß weit fortzubringen, müßte die Kraft 120 Pfund einen Fuß weit fortrücken; der Kraftaufwand oder die geleistete Arbeit ist 120 Fußpfund, und die Arbeit, welche das Pferd bei diesem Schiffziehen in einer Secunde leistet, ist $120 \times 3^7/_{10} = 444$ Fußpfund oder $^{444}/_{500}$ Pferdskräfte, beinahe eine ganze.

Soll der Transport mit dem Schiffe beschleunigt werden, soll die Geschwindigkeit doppelt so groß werden, so ist die erforderliche Kraft $4 \times 120 = 480$ Pfd., und der Weg der Kraft in einer Secunde $2 \times 3^7/_{10} = 7^4/_{10}$ Fuß; also der Kraftaufwand in einer Secunde $480 \times 7^4/_{10} = 3552$ Fußpfund, oder etwas über 7 Pferdskräfte; d. i. das 8fache des Kraftaufwandes bei der Geschwindigkeit 3,7 Fuß.

Um denselben Transport in dem dritten Theile der Zeit auszuführen, wird die Kraft 9mal und der Weg 3mal so groß, als im ersten Falle, also der erforderliche Kraftaufwand 9×3 oder 27mal so groß, als im ersten Falle.

Man sieht, wie nachtheilig sich bei schnellen Fahrten der Kraftaufwand stellt, und sieht, wie sehr hier die Straßen im Vortheile sind, wo die erforderliche Kraft mit der Geschwindigkeit nicht wächst (abgesehen vom Widerstande der Luft), und wo daher der erforderliche Kraftaufwand, die zu leistende Arbeit, nur im einfachen Verhältnisse mit der Geschwindigkeit wächst.

86. Bisher wurde nur ruhiges Wasser angenommen. Bei strömendem Wasser läßt man bekanntlich die Schiffe zu Thal nur durch die Strömung des Wassers selbst forttreiben, zu Berg aber bedarf es einer ziemlich großen Arbeit.

Bei unseren größeren Strömen hat das Wasser eine Geschwindigkeit von 4 bis 5 Fuß; soll nun ein Schiff, wie das obige, mit nur 2 Fuß Geschwindigkeit aufwärts gezogen werden, so hat man den einer Geschwindigkeit von 6 bis 7 Fuß entgegenstehenden Widerstand zu überwinden, d. i. für eine Geschwindigkeit, welche etwa 1,7mal so groß ist, als die oben angegebene. Die Kraft, welche jetzt zur Fortschaffung des Schiffes von 720 Centnern Gewicht und Belastung erfordert wird, wächst damit auf $1{,}7 \times 1{,}7 = 2{,}89$ der früheren, d. i. 350 Pfd. beinahe.

Das Gefälle in einem Flusse, der nur mit 4 bis 5 Fuß Geschwindigkeit fließt, ist noch ganz unbedeutend, nicht $\frac{1}{100}$ Procent. Bei einer Eisenbahn, welche neben dem Flusse geführt wäre, könnte man dieses Gefäll noch ganz außer Rechnung lassen, und hier würde man, um 720 Centner fortzuziehen, nicht ganz 200 Pfd. Kraft bedürfen, also weniger, wie oben, wobei man noch den Vortheil hätte, die Bahn das ganze Jahr hindurch gebrauchen zu können, während unsere Schifffahrt jeden Winter wegen Eis längere Zeit eingestellt werden muß. Wohl zu merken, ist hier nur von dem Zuge auf der Eisenbahn durch Pferde die Rede.

87. Die Kraft, wie sie oben als zum Zug der Schiffe angegeben ist, bezieht sich nur auf Schiffe von einer bestimmten Form. Je leichter die Form des Schiffes das Ausweichen des Wassers nach der Seite hin gestattet, desto weniger wird es sich vor dem Schiffe stauen, desto weniger das Schiff aufhalten. Ebenso wird das Hintertheil des Schiffs durch seine Form Einfluß auf das Zusammenströmen des Wassers und damit auf den Widerstand des Wassers haben; doch ist die Form des Hintertheils immer minder bedeutend, als die des Vordertheils, und scheint bei einiger Länge des schwimmenden Körpers beinahe gar keinen Einfluß zu haben.

Wie wichtig dieser Einfluß der Form ist, hat unter anderm Borda dadurch gezeigt, daß er zuerst den Widerstand einer Kugel, welche in der Luft bewegt wurde, maß, dann diese Kugel in der Mitte durchschnitt, und nun die Halbkugel, mit der ebenen Fläche voran, auf

gleiche Weise bewegte. Der Widerstand, den die Halbkugel erlitt, war $2^1/_2$mal so groß, als der Widerstand der ganzen Kugel.

Eben so leicht ist einzusehen, daß in einem engen Canale, in welchem das Wasser noch neben dem Schiffe gestaut bleibt, die Zugkraft größer seyn muß, als in einem weitern, in dem das vor dem Schiffe gestaute Wasser nach allen Seiten hin abfließen kann.

Unsere Kenntnisse über den Widerstand des Wassers gegen Bewegung in ihm sind übrigens noch nicht soweit gediehen, daß es bis jetzt möglich gewesen wäre, die passendste Form der Schiffe für jede bestimmte Fluß- oder Canalstrecke anzugeben.

88. Bei einer Bewegung in der Luft ist der Widerstand im Allgemeinen viel geringer, als bei der Bewegung in Wasser, was sich einfach daraus erklärt, daß die Luft viel weniger dicht ist, als Wasser, und daher bei derselben Bewegung in der Luft viel weniger Massetheilchen mit in Bewegung gesetzt werden müssen, als bei einer Bewegung im Wasser. Statt des Aufstauens, was man hier bemerkt, verdichtet sich die Luft vor dem bewegten Körper, und verdünnt sich hinter demselben. Dadurch ist der Körper genöthigt, dichtere Luft, als die ruhende, vor sich herzutreiben, und der Widerstand ist daher größer, als wenn man die Dichte der Luft nur so annimmt, wie sie in der ruhenden Luft sich zeigt. Diese Dichte der Luft vor dem bewegten Körper wird aber um so größer werden, je schneller sich der Körper bewegt, und es wird somit der Widerstand der Luft gegen Bewegung in ihr noch schneller wachsen, als das Quadrat der Geschwindigkeit, oder schneller, als im Wasser, was durch die Erfahrung bestätigt wurde.

89. Für nicht sehr große Geschwindigkeiten kann man gleichwohl den Widerstand der Luft als wachsend wie das Quadrat der Geschwindigkeit, annehmen; so hat dieß de Pambour bei seiner Untersuchung über den Widerstand, den die Wagenzüge auf Eisenbahnen durch die Luft erleiden, gethan. Er gibt an, daß die Stoßfläche für den Wagenzug, wie die Wagen gewöhnlich gebaut werden, 70 (englische) Quadratfuß betrage, wozu noch für jeden Wagen 10 Quadratfuß zugezählt werden müßten, und daß der Widerstand der Luft bei einer Geschwindigkeit von 1 Wegstunde (15000 Fuß oder $^1/_{25}$ Grad) in 1

Zeitstunde auf einen Wagen (80 Quadratfuß) gleich $1\frac{1}{2}$ Pfd. ist. Dieser Widerstand muß nach der eben angegebenen Vergrößerung der Stoßfläche für jeden weiteren Wagen um $\frac{1}{8}$ seiner Größe vermehrt werden.

In Nro. 78. haben wir berechnet, daß ein Pferd mit 112 Pfd. Kraft eine Last von 414 Centner auf einer Eisenbahn fördern könne, wenn nur die Reibung zu überwinden wäre. Sehen wir nun, wie weit sich diese Kraft von 112 Pfd. steigert, wenn auch der Widerstand der Luft in Rechnung gebracht wird.

Soll ein Pferd die Last ziehen, so wird dieß nur im Schritte geschehen können, und die Geschwindigkeit wird etwa 1 Wegstunde in 1 Zeitstunde (ca. 4 Fuß in 1 Secunde) seyn, also der Widerstand der Luft nur $1\frac{1}{2}$ Pfd. betragen, und die Zugkraft von 112 Pfd. auf $113\frac{1}{2}$ steigen.

Geht aber hierbei dem Zuge ein frischer Wind entgegen, für welchen man 16 Fuß Geschwindigkeit annehmen kann, so ist die Geschwindigkeit, mit welcher der Wagen und die Luft zusammentreffen, $4 + 16 = 20$ Fuß, also 5mal so groß, als früher, und der Widerstand der Luft wird 25mal $1\frac{1}{2}$ Pfd., d. i. 38 Pfd., die erforderliche Zugkraft aber $112 + 38 = 150$ Pfd., schon beträchtlich größer, als oben. Bei einem heftigen Winde und Sturm kann die Geschwindigkeit des Windes auch 60 Fuß und darüber werden; dann wird der Widerstand der Luft 16×16 mal $1\frac{1}{2}$ Pfd., d. i. 384 Pfd., und die Zugkraft müßte von 112 auf $112 + 384 = 496$ Pfd. steigen. Ein Pferd wäre hier kaum mehr im Stande, den Zug aufzuhalten, viel weniger ihn gegen den Sturm zu bewegen.

Bei den Fahrten, wie sie auf unsern Eisenbahnen mit Hilfe der Locomotive vorkommen, ist die größte Geschwindigkeit ungefähr 10 Wegstunden in 1 Zeitstunde, also der Widerstand eines Wagens $100 \times 1\frac{1}{2} = 150$ Pfd. Sind 10 solcher Wagen aneinander gehängt, so muß man für jeden noch $\frac{1}{8}$ dieser Zahl addiren, wodurch man den Widerstand der Luft gleich 338 Pfd. findet, welcher sich aber bei einem heftigen Sturme (60 Fuß Geschwindigkeit des Windes) bis auf $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 338 = 2111$ Pfd. steigert.

Dieser Widerstand muß bei einer Geschwindigkeit von 40 Fuß in der Secunde, 40 Fuß weit fortgeführt werden, was die Arbeit $2111 \times 40 = 84440$ Fußpfund gibt, welche $^{84440}/_{500} = 168$ Pferdskräften entspricht, während bei ruhiger Luft der betrachtete Zug von 10 Wagen nur 27 Pferdskräfte zur Ueberwindung des Widerstandes der Luft in Anspruch nimmt. Man sieht leicht, daß bei einem solchen Sturme der Zug wird langsamer gehen müssen.

Die Reibung an der Bahn verursacht einen viel kleineren Kraftaufwand. Ein Zug von 10 Wagen, die alle besetzt sind, wiegt ungefähr 800 Centner ohne die Locomotive. Die Reibung beträgt hiervon den 370sten Theil (Nro. 78.), also 216 Pfd.; die Arbeit, welche sie in einer Secunde verursacht, beträgt daher $40 \times 216 = 8640$ Fußpfund oder 17 Pferdskräfte nicht ganz.

Für die Bewegung dieses Zugs mit 40 Fuß Geschwindigkeit in ruhiger Luft sind daher $17 + 27 = 44$ Pferdskräfte erforderlich, wozu noch außerdem die Kraft kommt, welche die Locomotive und ihr Tender (Wagen mit den Kohlen und dem nothwendigen Wasser) zu ihrer Bewegung in Anspruch nehmen.

90. Der Widerstand der Luft bildet einen wichtigen Theil der Untersuchung in der Lehre von der Bahn geworfener Körper in der Luft, der Ballistik. Wir wollen diese Untersuchung den Artilleristen überlassen.

§. 3. Von der Unbiegsamkeit der Seile.

91. Soll ein Seil gebogen werden, so gehört dazu Kraft; diese Kraft geht in vielen Fällen für die Bewegung verloren, und die nicht vollkommene Biegsamkeit der Seile, ihre Steifheit, erscheint daher häufig als ein Widerstand gegen Bewegung.

Dieser Widerstand ist von Coulomb genau untersucht worden; er ist von der Beschaffenheit des Seils abhängig, und, wie man leicht einsieht, bei neuen Seilen größer, als bei schon längere Zeit im Gebrauche stehenden. Bei getheerten Seilen fand Coulomb den Widerstand größer, als bei solchen, die nicht getheert sind.

Legt man über eine Rolle ein Seil, so wird man an jedes Ende ein gleiches Gewicht anbringen müssen, um Gleichgewicht zu haben.

Soll aber Bewegung erfolgen, so wird auf der Seite der Rolle, von welcher her diese sich dreht, das Seil nicht genau an die Rolle sich anlegen, es wird dort durch seine Steifheit etwas abstehen, also der Hebelsarm der Last etwas größer werden, als der Hebelsarm der Kraft, folglich diese etwas größer seyn müssen, als jene.

In Bezug auf die Größe dieses Widerstandes kann man annehmen, daß der Hebelsarm der Last bei neuen Seilen um die Hälfte, bei gebrauchten um $^1/_3$ und bei alten Seilen um $^1/_4$ bis $^1/_5$ des Seildurchmessers größer sey, als der Hebelsarm der Last.

An einem Seile, das bei einem Haspel gebraucht wird, sollen 800 Pfd. in die Höhe gezogen werden. Der Durchmesser der Welle sey 1 Fuß; das Seil habe 1 Zoll Durchmesser. Welche Kraft wird hierzu gebraucht werden?

Der Hebelsarm der Kraft ist $^1/_2$ Fuß $+$ $^1/_2$ Zoll $=$ 55 Linien; der Hebelsarm der Last ist 55 Linien $+$ $^1/_2$ Zoll $=$ 60 Linien. Die Kraft, welche am Umfange der Welle an diesem Seil ziehen muß, ist also $^{60}/_{55}$mal 800 $=$ 873 Pfd., und der Widerstand, der von der Unbiegsamkeit des Seils herrührt, 73 Pfd.

Viertes Buch.

Von den bewegenden Kräften und den Kraft=Maschinen.

92. Die Natur gibt uns zur Bewegung der Maschinen verschiedene Kräfte, von welchen aber bis jetzt nur die Schwere, die Elasticität, die Wärme und die Muskelkraft der Menschen und Thiere benützt werden, wenn man die noch sehr unbedeutende und nur versuchsweise Anwendung der Electricität und des Magnetismus außer Acht läßt.

93. Die Anwendung der Schwerkraft besteht entweder darin, daß man Gewichte an Schnüren von einer Höhe, auf welche sie zuvor gebracht wurden, herabsinken läßt, wie wir das bei vielen Uhren sehen, wie die Bewegungen der Vorhänge und Coulissen bei den Theatern geschehen; oder man nimmt statt der Gewichte einen Körper, welchen die Natur selbst uns in die Höhe hebt, das Wasser, und benützt die Schwere des Wassers, indem man es auf Räder oder auf andere Weise herabfallen läßt. Diese Kraft des Wassers und ihre Anwendung soll später ausführlich betrachtet werden.

Die Arbeit, welche die Schwerkraft leisten kann, mißt sich ganz einfach durch das Gewicht des herabgesunkenen Körpers, vervielfacht mit der Höhe, von welcher dieses Gewicht herabsinkt. Läßt man z. B. ein Gewicht 40 Pfd. 10 Fuß tief herabsinken, so ist die Arbeit, welche hierdurch geliefert werden kann, $40 \times 10 = 400$ Fußpfund. Fällt ein Kubikfuß Wasser (54 Pfd.) 6 Fuß tief herab, so ist der Kraftaufwand gleich $54 \times 6 = 324$ Fußpfund.

94. Die Elasticität fester und flüssiger Körper wird zur Hervorbringung von Bewegung benützt. Feste Körper, welche durch ihre Form wie durch ihren Stoff eine bedeutende Formänderung mit Beibehaltung des Bestrebens, ihre ursprüngliche Form wieder einzunehmen, erlauben, nennt man Federn; ihre Anwendung zur Bewegung vieler Uhrwerke ist bekannt. Die Feder liegt spiralförmig gewunden in einem Gehäuse, dem Federhaus, und ist mit dem einen Ende an

der Axe, mit dem andern am Federhause befestigt, welch' letzteres sich um die beinahe immer unbewegliche Axe drehen kann. Nachdem die Feder aufgezogen, d. h. zusammengedreht ist, so sucht sie sich aufzuwickeln, dreht damit das Federhaus, welche Bewegung gewöhnlich mit Hilfe einer Kette, die um das Federhaus gewunden, weiter fortgepflanzt wird. Die Feder äußert bei ihrer Aufwicklung die Kraft wieder, welche zum Aufziehen verwendet wurde; sie speichert nur diese Kraft auf, um sie langsam zum Treiben des Uhrwerks zu verwenden.

Außer dieser Verwendung der Elasticität, wird noch die Elasticität der Luft bei den Windmühlen verwendet; von dieser Kraft des Windes wird später die Rede seyn.

95. Die Wärme ist eine in neuerer Zeit sehr vielfältig zur Bewegung angewendete Naturkraft, doch hat nur eine Weise der Benützung, die durch den Wasserdampf, allgemeinere Verbreitung erlangt. Diese Anwendung soll später ausführlich betrachtet werden.

Die Wärme wird gewöhnlich dadurch gemessen, daß man angibt, wie viel Wasser von 0 Grad bis auf einen Grad durch sie erwärmt werden kann. Die Menge Wärme, welche 1 Pfd. Wasser von 0 Grad bis 1 Grad erwärmen kann, nennt man die Wärmeeinheit.

Um nun die mechanische Arbeit zu finden, welche durch diese Wärmeeinheit geleistet werden kann, denke man sich einen Cylinder, welcher den Querschnitt 1 Quadratfuß hat, nehme an, dieser Cylinder sey nach unten fest verschlossen, nach oben aber durch einen verschiebbaren Kolben, welcher gleichwohl luftdicht schließt, und sey endlich mit Luft gefüllt. Auf diese Luft drückt mittels des Kolbens die äußere Luft, und zwar, wie in der Naturlehre gezeigt wird, mit einer Kraft, welche bei dem als Norm angenommenen Barometerstande von 28 pariser Zoll ca. 1860 Pfd. beträgt. Wird die Luft außerhalb des Kolbens weggenommen, so bleibt für die Luft in dem Cylinder noch alles beim Alten, wenn man nur ein Gewicht von 1860 Pfd. auf den Kolben legt; das Gewicht des Kolbens soll weggedacht seyn. Nun lasse man zu der Luft im Kolben so viel Wärme treten, als erfordert wird, um 1 Pfd. Wasser um einen Grad zu erwärmen, eine Wärmeeinheit. Die Luft wird sich erwärmen und wird sich zugleich ausdehnen, was dadurch möglich wird, daß

der Kolben mit den auf ihm lastenden 1860 Pfd. in die Höhe geschoben wird. Durch diese Ausdehnung wird die Luft zugleich wieder kälter, und Ausdehnung und damit verbundene Abkühlung werden, wenn zugleich die Belastung des Kolbens entsprechend vermindert wird, so weit fortgehen, bis die Temperatur der Luft wieder dieselbe wie früher ist. Die Wirkung der zugetretenen Wärmeeinheit besteht dann lediglich darin, daß der Kolben mit dem darauf lastenden Gewichte durch einen bestimmten Raum in die Höhe geschoben wird, also ein Gewicht auf eine bestimmte Höhe gehoben wird, eine Arbeit, welche wieder auf die bekannte Art durch Fußpfunde gemessen wird. Ich habe an einem andern Orte*) nachgewiesen, daß die mechanische Arbeit, welche die Wärmeeinheit zu leisten vermag, 1250 Fußpfunde beträgt, wobei die Temperaturen, nach der 100theiligen Scala gemessen, vorausgesetzt sind.

Man sieht, wie bedeutend diese Arbeit ist; wir werden später sehen, daß man bei den Anwendungen nur einen ziemlich kleinen Theil dieser ganzen Wärmekraft, so wie unsere Maschinen jetzt eingerichtet sind, benützt.

96. Wie die Kraft des Menschen und der Thiere gemessen, und wie auch hier die geleistete Arbeit sich immer durch ein auf bestimmte Höhe gebrachtes Gewicht messen läßt, haben wir früher schon gesehen. Wir werden diese Muskelkraft und die Art ihrer Anwendung später besonders betrachten.

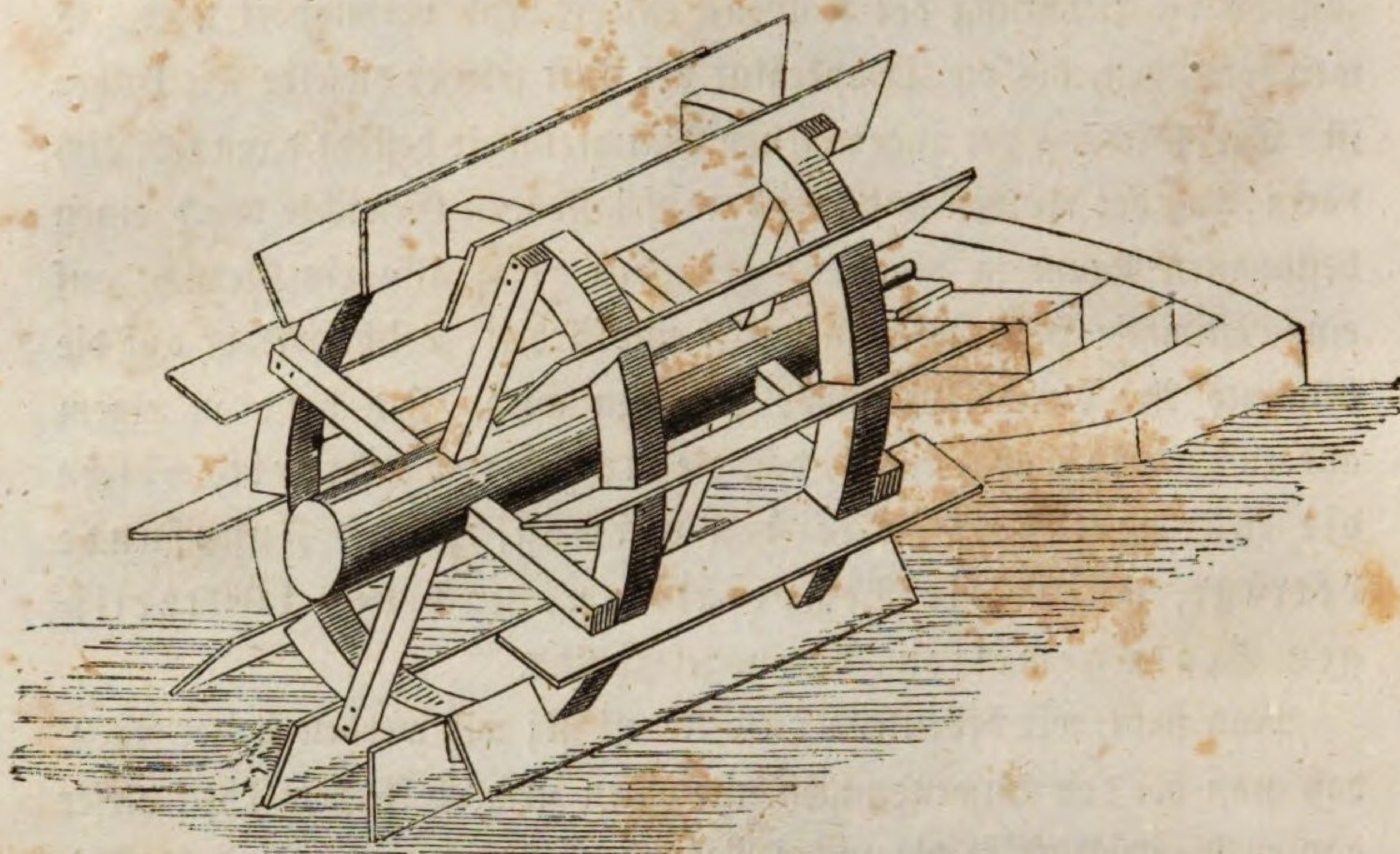
§. 1. Von der Wasserkraft.

97. Die einfachste Weise, eine vorhandene Wasserkraft zu benützen, kommt bei größeren Flüssen vor, wo man unmittelbar in den Strom ein Wasserrad hängt, und dieses durch die lebendige Kraft der die Schaufeln treffenden Wassermasse umtreiben läßt. Fig. 54. stellt ein solches Rad vor, wie es bei den Schiffmühlen gebraucht wird. Das Rad geht zwischen zwei in dem Strome durch Anker befestigten Schiffen; jedes dieser Schiffe trägt einen der beiden Zapfen der Welle, und das eine Schiff zugleich die ganze Arbeitsmaschine, gewöhnlich

*) Ueber die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe. Mannheim (bei Tobias Löffler. 1845. S. 13.)

eine Mahlmühle, zu welcher die drehende Bewegung des Wasserrades durch seine Welle fortgepflanzt wird.

Fig. 54.



98. Um zu übersehen, wovon die Leistung eines solchen Rades abhänge, wollen wir versuchen, diese für einen bestimmten Fall zu berechnen. Wir nehmen dazu ein Rad an, das in einem Flusse hängt, dessen Geschwindigkeit gleich 6 Fuß gefunden wurde, und bei dem die Geschwindigkeit der Mitte der Schaufel 2 Fuß beträgt.

Das Rad tauche 3 Fuß tief in das Wasser ein, und die Schaufeln seyen 7 Fuß breit, also die Fläche, in welcher das Rad von dem Wasser getroffen wird, gleich 21 Quadratfuß. Auf diese 21 Quadratfuß treffen in einer Secunde je $6 \times 21 = 126$ Kubikfuß Wasser, welche $126 \times 54 = 6804$ Pfd. wiegen. Durch den Gegendruck der Schaufel muß dieser Wassermasse in einer Secunde die Geschwindigkeit 6 Fuß in die der Schaufel = 2 Fuß vermindert werden. Wie groß muß dieser Druck der Schaufel seyn?

In dem ersten Buche haben wir gesehen, daß man 1 Pfd. Kraft braucht, um der Masse 1 Pfd. die Geschwindigkeit 32 Fuß in einer Secunde zu ertheilen oder zu nehmen, und daß man, um 4 Fuß Geschwindigkeit (den 8ten Theil von 32) dieser Masse zu nehmen, $^1/_8$

Pfd. Kraft brauche. Um also der obigen Wassermasse von 6804 Pfd. die Geschwindigkeit 4 Fuß zu nehmen, wird man die Kraft $6804 \times \frac{1}{8} = 850$ Pfd. nahe bedürfen, und so groß wird also der Gegendruck der Schaufel, oder umgekehrt der Druck des Wassers auf die Schaufel seyn. Dieser Druck wird mit der Geschwindigkeit der Schaufel fortgeführt, sein Weg in einer Secunde ist also 2 Fuß, und daher die Arbeit, welche das Rad leisten kann, die Kraft des Rades $850 \times 2 = 1700$ Fußpfund.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß der Effect der Schiffmühlenräder nicht ganz so groß ist, als diese Rechnung ergibt; ein leicht erklärliches Resultat, wenn man bedenkt, daß gewiß nicht alles in dem Querschnitte von 21 Quadratfuß fließende Wasser auf die oben angenommene Weise seine Geschwindigkeit ändert. Nach Poncelet erhält man aber Werthe für die Kräfte solcher Räder, wenn man die Resultate der nach obigem Muster geführten Rechnungen noch mit $\frac{4}{5}$ multiplicirt. Hiernach ergibt sich der Effect des betrachteten Rades gleich $\frac{4}{5} \times 1700 = 1360$ Fußpfund, oder etwa $2\frac{1}{2}$ Pferdskräfte.

99. Läßt man das Rad schneller gehen, was dadurch geschehen kann, daß man den Widerstand, den das Rad überwinden soll, vermindert, so wird der Effect ein anderer. Nach derselben Weise, wie oben berechnet, erhält man für

die Geschwindigkeiten der Schaufeln	3′;	4′;	5′
die Effecte des Rades . . .	1530;	1360;	850 Fußpfund.

Für den Stillstand der Schaufel liefert das Rad endlich gar keine Arbeit mehr, und ebenso muß man auf alle Arbeit verzichten, wenn die Schaufel die Geschwindigkeit des Wassers selbst annehmen soll.

Bei der Anordnung eines solchen Rades wird man daher immer darauf sehen müssen, daß die Schaufel sich nahe mit der halben Geschwindigkeit des Wassers bewegt; entfernt man sich weit hiervon, so wird die Arbeit, welche das Rad leistet, weit hinter der zurückbleiben, welche dasselbe bei vortheilhafterer Einrichtung der Maschine liefern könnte.

100. Es wird vielleicht Manchem auffallen, daß bei der obigen Berechnung der Kraft des Rades der Durchmesser dieses Rades gar

nicht in Betracht kam. Das aber wird ganz klar, wenn man bedenkt, daß es nicht das Rad ist, welches arbeitet, sondern nur das Wasser, und daß es also bei der Kraft des Rades nur soweit auf seine Dimensionen ankommt, als dadurch bestimmt wird, wie viel von der vorhandenen Wasserkraft von dem Rade aufgenommen wird, also auf die Größe der Schaufelfläche, welche denn auch in Rechnung gezogen wurde. Gleichwohl ist in anderer Beziehung die Größe des Raddurchmessers nicht gleichgültig, wie sich sogleich zeigen wird.

Gesetzt man sollte ein solches Schiffmühlenrad construiren, das von einem Flusse, dessen Geschwindigkeit 6 Fuß ist, 8 Pferdskräfte aufnehmen und fortpflanzen sollte.

Die Geschwindigkeit des Schaufelmittelpunktes nimmt man nach Erfahrungen am besten gleich $^2/_5$ der Geschwindigkeit des Wassers, also hier gleich 2,4 Fuß. Den Schaufeln gibt man bei diesen Rädern eine Höhe von 1 bis $2^1/_2$ Fuß. Wir nehmen für das zu construirende Rad diese Höhe oder vielmehr die Tiefe, auf welche das Rad eingetaucht seyn soll, in der Voraussetzung, daß der Strom dieß erlaubt, gleich $2^1/_2$ Fuß. Die Breite der Schaufel setzen wir vorerst gleich 1 Fuß.

Berechnet man, wie in der vorhergehenden Nummer, die Kraft dieses Rades, so findet man diese gleich $^4/_5 \times 2^1/_2 \times 54 \times 6 \times \frac{6-44}{32} \times 2,4 = 175$ Fußpfund

Um nun die Kraft von 8 Pferden oder $8 \times 500 = 4000$ Fußpfund zu erhalten, muß man das Rad $\frac{4000}{275} = 23$mal so breit machen, als oben angenommen wurde, also 23 Fuß breit.

Will man den Radhalbmesser bis zur Mitte der Schaufel etwa 4mal so groß nehmen, als die Höhe der Schaufel, also gleich 10 Fuß, so wird der Kreisumfang zu diesem Halbmesser gleich $20 \times \frac{22}{7} = 63$ Fuß. Diesen Kreis wird aber eine Schaufel mit 2,4 Fuß Geschwindigkeit in $\frac{63}{2,4} = 26$ Secunden durchlaufen, oder dieses Rad wird in 26 Secunden einmal sich umdrehen, in einer Minute etwas über zweimal.

Ist diese Umdrehung, die sehr langsam vor sich geht, für den be=

stimmten Zweck, zu dem das Rad gebraucht wird, doch noch zu schnell, so darf man nur den Durchmesser des Rades noch größer machen, und es wird ein Umlauf des Rades noch mehr Zeit erfordern. Gewöhnlich aber wird eine größere Geschwindigkeit erwünscht seyn, und dazu dient ein kleinerer Raddurchmesser, wobei nur zu bemerken ist, daß man diesen Raddurchmesser nicht gerne kleiner nimmt, als die 5fache Höhe der Schaufeln, indem bei kleineren Rädern die Schaufeln zu schief in und aus dem Wasser treten, auch zu wenig Schaufeln in das Wasser kommen. Die Schaufeln setzt man gerne ungefähr um ihre Höhe auseinander; für obiges Rad würde man hiernach 25 Schaufeln erhalten. Gewöhnlich nimmt man der bessern Eintheilung wegen eine durch 4 theilbare Zahl, also hier 24.

Die Schaufeln soll man mit Vortheil gegen den Radius unter einem Winkel von 30° stromaufwärts stellen; es wird dadurch das Austreten der Schaufeln aus dem Wasser erleichtert.

Man sieht übrigens aus obiger Rechnung, daß solche freihängende Räder nicht zu großer Arbeitsleistung taugen; sie werden hierbei zu colossal.

101. Es ist zu einer solchen Anlage, wie wir gesehen haben, erforderlich, die Geschwindigkeit des Wassers in dem Flusse oder Kanale zu messen. Das einfachste Mittel hierzu ist, Schwimmer in den Fluß zu bringen, z. B. gewöhnliche Flaschen, welche, um tiefer einzusinken, zum Theil gefüllt sind, und zu messen, wie weit diese in einer bestimmten Zeit forttreiben, woraus man ihre Geschwindigkeit, welches zugleich die Geschwindigkeit des Flusses ist, berechnen kann, d. h. berechnen kann, wie weit der Schwimmer in einer Secunde kommt. Andere Mittel hierzu, wie den Woltmann'schen Strommesser, die Pitot'sche Röhre, können wir hier übergehen.

102. Hat man ein Wasser mit einem stärkeren Falle zu benützen, so wird die Anordnung eine ganz andere. Hier legt man in der Regel von dort an, wo man die Wasserkraft benützen will, einen Kanal mit möglichst geringem Fallen an, den man fortführt bis zu der Stelle, wo die Wasserkraft benützt werden soll. Hier läßt man nun plötzlich das Wasser so weit herabfallen, daß unten nur noch ein Gefälle übrig bleibt,

das dem herabgefallenen Wasser den gehörigen Abfluß gibt. Das Herabfallen des Wassers geschieht entweder auf ein Rad, Wasserrad, oder in der sogenannten Wassersäulen-Maschine.

Wir wollen zuerst sehen, wie man die beiden Kanäle, den Zuleitungs- und den Ableitungskanal, einzurichten hat, und wollen dann die Maschinen betrachten, in welchen die durch das Herabfallen des Wassers sich ergebende Kraft aufgenommen wird.

103. An den Zuleitungskanal macht man die Forderungen, daß er die erforderliche Wassermenge mit dem wenigstmöglichen Verluste an Gefälle, auf dem kürzesten Wege an den Ort bringe, an dem die Wasserkraft benützt werden soll.

104. Um an Gefälle möglichst zu sparen, gibt man dem Wasser in dem Zuleitungskanal nur eine Geschwindigkeit von $^2/_3$ bis $^4/_3$ Fuß, je nachdem das Wasser reiner ist oder Sand absetzt, vor dem man den Kanal wahren muß.

Weiß man nun, wie viel Wasser der Kanal dem Wasserwerke zuführen soll, wobei man sich natürlich vorher überzeugt haben muß, daß der Bach oder Fluß auch in der That so viel Wasser liefert, so ist es ganz leicht, nunmehr den Querschnitt des Kanals zu berechnen. Wird dieser Querschnitt vorerst gleich 1 Quadratfuß angenommen, so läuft in einer Secunde durch diesen bei z. B. $^4/_3$ Fuß Geschwindigkeit $^4/_3$ Kubikfuß Wasser; sollen also etwa 30 K.-F. Wasser in diesem Kanale zugeleitet werden, so wird der Kanal so oft einen Quadratfuß Querschnitt erhalten müssen, so oft $^4/_3$ in 30 enthalten ist, also $22^1/_2$ Quadratfuß.

105. Das nächste ist nun, die Form dieses Querschnittes festzusetzen; diese wird, wie man leicht einsieht, von dem Materiale abhängen, aus dem der Kanal hergestellt werden soll. Hölzernen und gemauerten Kanälen kann man verticale Wände geben, gegrabenen Kanälen, deren Seitenwände nur aus Erdreich bestehen, muß man Böschungen an der Seite geben, wobei man je nach der Art des Erdreiches zu 1 Fuß Steigung 1 Fuß oder 2 Sohle gibt.

Wir wollen hier annehmen, der Kanal sey gemauert; dann wird

man ihm 3,4 ($=\sqrt{\frac{22,5}{2}}$) Fuß Höhe und das Doppelte = 6,7 Fuß zur Breite geben. Der Querschnitt des Kanals wird dann ein wenig größer, als $22\frac{1}{2}$ Quadratfuß.

106. Es handelt sich nun darum, wie groß man das Gefälle dieses Kanals nehmen muß, damit das Wasser in ihm mit der oben angenommenen Geschwindigkeit von $\frac{4}{3}$ Fuß fließe. Das Wasser fließt in einem Kanale um so schneller, je stärker dieser fällt; weil aber das Wasser an den Wänden aufgehalten wird, so wird wieder das Wasser um so langsamer fließen, je größer die Wände des Kanals sind; aber diese werden um so weniger Einfluß äußern, je größer zugleich der Querschnitt ist, durch den das Wasser fließt. Man hat viele Erfahrungen hierüber gesammelt, wonach diese Einflüsse nunmehr berechnet werden können, worüber ich wieder auf „Morin's Hülfsbuch des praktischen Mechanikers" verweisen will. Für unsern Fall wird das erforderliche Gefälle $1\frac{1}{4}$ Fuß auf 1000 Fuß Länge.

Muß der Zuleitungskanal 3000 Fuß lang werden, so verliert man hierdurch am ganzen Gefälle schon $3 \times 1\frac{1}{4} = 3\frac{3}{4}$ Fuß.

Für kleinere Kanäle wird das nothwendige Gefälle größer, weil der Umfang langsamer abnimmt, als der Querschnitt. Für einen ähnlichen Kanal mit dreimal kleineren Dimensionen müßte das Gefälle dreimal größer werden.

107. Für den Kanal, welcher das Wasser, nachdem es die Maschine bewegt hat, wieder in den Bach ableiten soll, gelten dieselben Regeln; nur hat man hier darauf zu sehen, daß sehr häufig beim Anschwellen der Bäche nach heftigen Regengüssen, das Wasser des Bachs, das sogenannte Hinterwasser, in diesen Kanal tritt, und dadurch die Bewegung der Maschine hemmt, oder ganz aufhebt. Wo das zu befürchten ist, muß man einen Theil des Gefälls opfern, um allzuhäufigen Störungen des Betriebs der Maschine zu entgehen. Diesen Theil des Gefälls verwendet man dann zum Gefälle des Ableitungskanals, welcher also jetzt viel größer wird, als nach der Rechnung in der vorhergehenden Nummer.

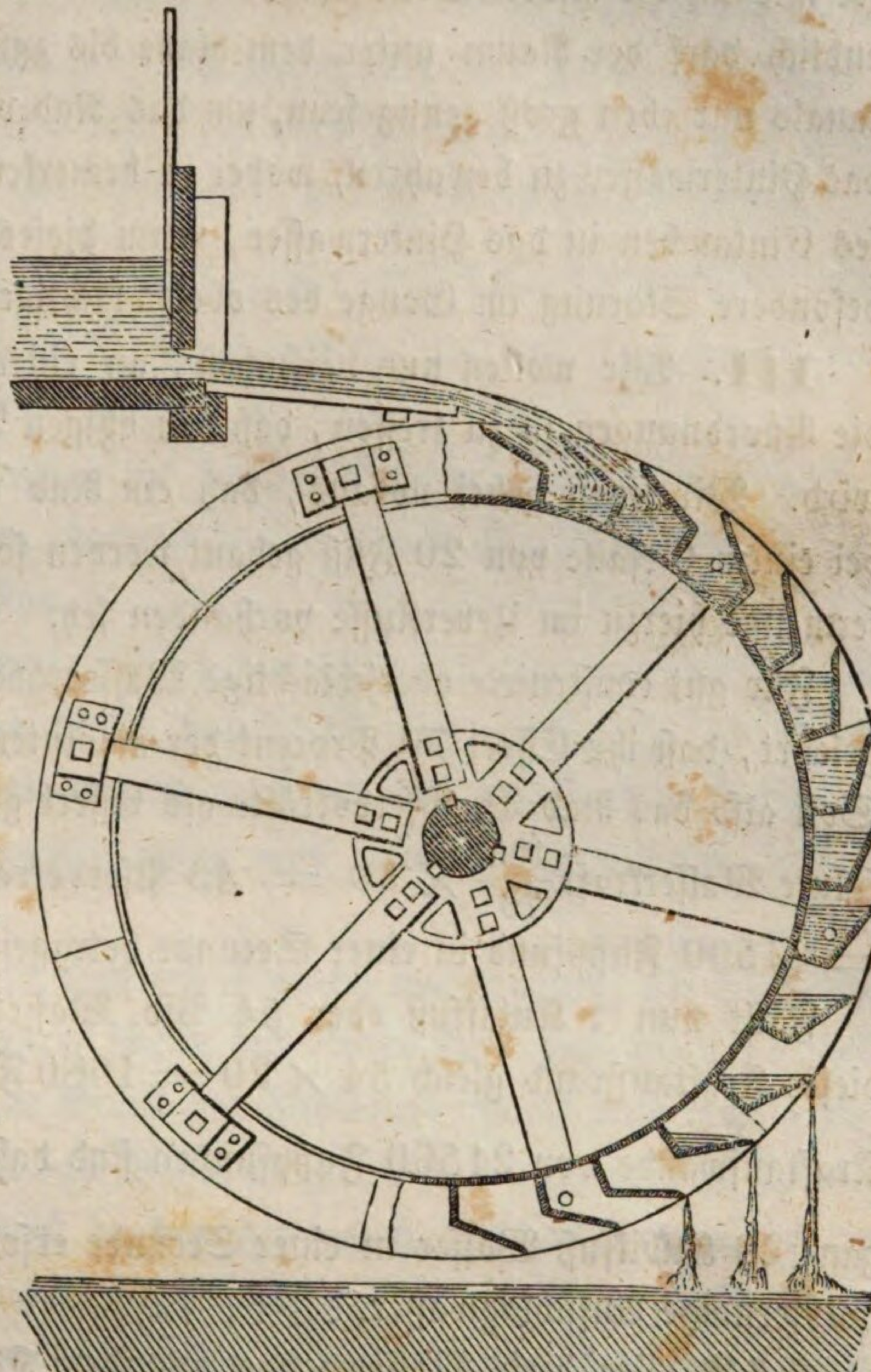
108. Ist auf diese Weise der Zuleitungs- wie der Abflußkanal

projectirt, so schreitet man nun zu der Wahl der Maschine, durch welche die Wasserkraft nutzbar werden soll. Die Maschinen, welche hier gebraucht werden, sind die Wasserräder und die Wassersäulenmaschine; die letzte wird nur bei sehr großen Gefällen von 100 und mehr Fußen, und soviel uns bekannt ist, nur zum Wasserheben verwendet. Die Wasserräder sind entweder horizontale, Turbinen, welche sich in horizontaler Richtung drehen, und deren Wellen daher vertical stehen, oder verticale, welche sich um eine horizontale Achse drehen. Bis vor etwa 15 Jahren baute man fast ausschließlich verticale Wasserräder; seit dieser Zeit werden die Turbinen, welche durch Fourneyron und Andere wesentlich verbessert wurden, immer allgemeiner. Sie können bei jedem Gefälle, sey es groß oder klein, angewendet werden, und geben namentlich bei hohen Gefällen unmittelbar eine große Umdrehungsgeschwindigkeit. Sie sind aber weit künstlicher in ihrem Baue, als die verticalen Wasserräder, und erfordern eine sorgfältigere Behandlung, als diese, weßhalb sie sich hauptsächlich für solche Fabriken eignen, wo man gewohnt ist, größere Gehwerke zu beaufsichtigen. Für gewöhnliche Mahl- oder Sägmühlen wird man die verticalen Räder beibehalten. Diese können Gefälle bis zu etwa 30 Fuß vortheilhaft benützen, wobei man aber nur eine sehr langsame Umdrehung am Rade unmittelbar erhält. Soll nur eine langsame Bewegung bezweckt werden, so wird man diese Wasserräder jedenfalls den Turbinen vorziehen, da es für die Oekonomie der Kraft vortheilhafter ist, von der langsamern Bewegung zur schnellern, als von der noch schnellern zu der weniger schnellen übergehen zu müssen, weil bei den schnelleren Bewegungen die Reibung einen größeren Theil des Kraftaufwandes verzehrt. (Vergl. Nro. 73.)

Bei Gefällen bis herab zu etwa 10 Fuß nimmt man sogenannte oberschlächtige Räder, bei welchen das Wasser in Zellen fällt, und diese durch sein Gewicht herabdrückt; bei niedrigeren Gefällen wählt man unterschlächtige Räder, zu denen auch das oben betrachtete frei hängende Rad gehört. Wir wollen zuerst die oberschlächtigen Räder betrachten.

109. Ein oberschlächtiges Wasserrad (Fig. 55.) hat

Fig. 55.



zwei Radkränze, welche gegen die Welle hin durch den Boden des Rades verbunden sind. Zwischen den Radkränzen sind die Schaufeln angebracht, welche den Raum zwischen den Radkränzen und dem Boden in Zellen abtheilen. In diese Zellen fällt das Wasser, das meistens durch ein Gerinne, wie in Fig. 55., über den Scheitel des Rades diesem zugeführt wird. Es füllt nach und nach die Zellen auf einer Seite des Rades, macht dadurch das Rad auf der einen Seite schwerer, als auf der andern, dieses dreht sich daher, wobei das Wasser am untern Theile des Rades aus den Zellen wieder herausfällt, und in dem Ableitungskanale fortfließt.

110. Man sieht leicht, worauf es bei der Construction eines oberschlächtigen Rades ankommt. Zuerst muß das Rad groß genug seyn, um das Aufschlagwasser, das zufließende Wasser, aufzunehmen; es muß dieses Wasser aufnehmen, ohne es zu verspritzen, und so, daß die lebendige Kraft des zuströmenden Wassers auf das Rad übertragen wird; es muß ferner das Wasser so lange als möglich behalten und doch die Zellen auch rechtzeitig ausleeren, so daß nicht Was=

ser mit auf die andere Seite des Rades hinüber genommen wird, und endlich darf der Raum unter dem Rade bis zum Boden des Ablaufkanals nur eben groß genug seyn, um das Rad vor dem Eintauchen in das Hinterwasser zu bewahren, wobei zu bemerken ist, daß ein zeitweises Eintauchen in das Hinterwasser, wenn dieses sehr hoch wird, keine besondere Störung im Gange des oberschlächtigen Rades gibt.

111. Wir wollen nun versuchen, an einem speciellen Beispiele die Anordnungen so zu treffen, daß den obigen Anforderungen genügt wird. Wir setzen dabei voraus, daß ein Rad von 30 Pferdskräften bei einem Gefälle von 20 Fuß gebaut werden soll, und daß die Wassermenge hierzu im Ueberflusse vorhanden sey.

Für gut construirte oberschlächtige Wasserräder hat die Erfahrung gelehrt, daß ihr Effect 70 Procent der absoluten Wasserkraft betrage. Soll also das Rad 30 Pferdskräfte als Effect geben, so muß die absolute Wasserkraft $\frac{100}{70} \times 30 = 43$ Pferdskräfte oder $43 \times 500 = 21500$ Fußpfund in einer Secunde betragen.

Fällt nun 1 Kubikfuß oder 54 Pfd. Wasser 20 Fuß tief, so ist dieser Kraftaufwand gleich $54 \times 20 = 1080$ Fußpfund, und zu dem Kraftaufwande von 21500 Fußpfunden sind daher $\frac{21500}{1080}$ oder nicht ganz 20 Kubikfuß Wasser in einer Secunde erforderlich. Dieß ist das nothwendige Aufschlagwasser.

112. Um diese Wassermenge aus dem Kanale auf das Rad zu führen, und nach Belieben das Rad zum Stillstand bringen zu können, bringt man in der Seitenwand dieses Kanals eine Schütze, Stellfalle an, deren Sohle man etwa $2^1/_2$ Fuß unter den mittleren Wasserstand im Kanale anbringt, und nimmt vorläufig an, es sey diese Schütze 3 Zoll hoch aufgezogen. Es fragt sich nun, wie breit muß die Schütze genommen werden, um 20 Kubikfuß Wasser in einer Secunde auf das Rad zu geben.

Das Wasser steht über der Mitte der Ausflußöffnung 2,35 Fuß tief, es fällt also bis zum Ausfließen durchschnittlich 2,35 Fuß, wodurch es eine Geschwindigkeit von 12,24 Fuß erlangt. Durch einen Quadratfuß Oeffnung würden mit dieser Geschwindigkeit 12,24 Ku-

bikfuß Wasser in einer Secunde ausfließen. Die Erfahrung lehrt aber, daß sich der Strahl auf etwa $^{70}/_{100}$ der Oeffnung zusammenzieht, daß also nur $^{70}/_{100} \times 12{,}24$ oder 8,57 Kubikfuß in der That ausfließen *). Es sollen aber 20 Kubikfuß Wasser in einer Secunde ausfließen, die Oeffnung der Schütze muß daher $\frac{20}{8{,}57} = 2{,}33$ Quadratfuß groß seyn, oder da sie 3″ hoch ist, $^{233}/_{3} = 77^{2}/_{3}$ Zoll oder 7 Fuß $7^{2}/_{3}$ Zoll breit seyn.

Von der Schütze führt ein kurzes Gerinne von ungefähr 5 Fuß Länge, dem man eine schwache Neigung von $^{1}/_{12}$ seiner Länge gibt, das Wasser auf das Rad.

103. Für die Höhe des Rades selbst hat man von dem Gefälle von 20 Fuß nun nach Abzug von 2′ 5″ für die Schütze, 4″ Gefäll und 1″ Dicke des Gerinnbodens noch 17 Fuß, welche man demselben vollständig als Durchmesser geben muß, um wenigst möglich an dem Gefälle zu verlieren.

Die Radkränze stellt man etwas weiter auseinander, als die Weite der Schütze ist; die innere Weite des Rades kann hier gleich 82 Zoll genommen werden. Die Breite der Radkränze nimmt man nicht gerne größer als 1 Fuß, um das Wasser möglichst weit außerhalb zu halten, also das Gefälle möglichst zu benützen, auch um das Rad leichter zu machen; nur bei sehr mächtigen Rädern, die eine sehr große Weite zwischen den Radkränzen verlangten, nimmt man die Radkränze breiter bis zu 16 Zoll, wo man dann aber auch die Schützöffnung höher nimmt, dadurch wird das Rad selbst dann schmäler.

Unser Rad hat bei 17 Fuß Durchmesser einen Umfang von $17 \times {}^{22}/_{7} = 53^{3}/_{7}$ Fuß. Die Schaufeln stellt man am Umfange 1 bis $1^{1}/_{2}$ Fuß weit auseinander; man erhält also für unser Rad zwischen 53 und 35 Schaufeln. Viele Schaufeln verursachen ein starkes Verspritzen des Wassers, aber sie halten das Wasser tiefer herunter; wenige Schaufeln leeren bälder aus. Der bessern Eintheilung wegen nimmt man

*) Man findet die Resultate der Erfahrungen über den Ausfluß des Wassers ziemlich vollständig zusammengestellt in „Morin's Hilfsbuch des praktischen Mechanikers. Carlsruhe bei Groos. 2te Aufl. 1844.“

die Schaufelzahl gerne durch die Zahl der Radarme theilbar. Nimmt man also für unser Rad 8 Arme, so wird man dem Rade etwa 40 Schaufeln von Holz oder 48 von Blech geben.

Für die Stellung der Schaufeln hat die Erfahrung folgende Regel als brauchbar erwiesen. Man theilt den äußern Umfang in so viel gleiche Theile, als man Schaufeln hat, und zieht von jedem Theilpuncte einen Halbmesser. Dann zieht man mitten zwischen den beiden Begrenzungskreisen der Radkränze einen dritten, so geben die innen abgeschnittenen Theile der Halbmesser die Lage und Größe des einen Theils der Schaufeln, der sogenannten Boden- oder Riegelschaufel. Die äußern Theile der Schaufeln, die sogenannten Stoßschaufeln, richtet man nach den vorhergehenden Theilpuncten in der äußern Kreislinie des Radkranzes; die Schaufeln in Fig. 54. sind nach dieser Regel construirt, man sieht, daß sie das Wasser leicht eintreten lassen und es ziemlich tief halten. Sollen die Schaufeln von Blech gemacht werden, so rundet man nur den Winkel, den nach obiger Construction die Stoß- und die Riegelschaufel miteinander machen, ab.

114. Es bleibt noch übrig, die Geschwindigkeit anzugeben, welche das Rad annehmen soll. Je größer die Geschwindigkeit des Rades ist, desto weniger verliert das Aufschlagwasser an seiner durch den Druck des vor der Schütze stehenden Wassers erlangten Geschwindigkeit, desto weniger gibt es also von seiner erlangten lebendigen Kraft an das Rad ab; es ist deßhalb Regel, die oberschlächtigen Räder so langsam gehen zu lassen, als es die übrigen Umstände erlauben. Bei hölzernen Rädern läßt man die Geschwindigkeit des Radumfanges nie unter 4 Fuß herabsinken; bei kleinerer Geschwindigkeit müßte theils, wie wir sogleich sehen werden, das Rad zu breit werden, theils würde die bei hölzernen Rädern sich immer zeigende ungleiche Schwere des Rades einen sehr ungleichförmigen Gang desselben herbeiführen.

Gibt man dem von uns betrachteten Rade eine Geschwindigkeit von 5 Fuß am Umfange, so wird der ganze Umfang von $53^3/_7$ Fuß in beinahe 11 Secunden von einem seiner Puncte durchlaufen, oder das Rad braucht 11 Secunden zu einem Umlaufe, und macht also etwas mehr wie 5 Umläufe in einer Minute.

Die Forderung eines schnelleren Umlaufs ist oft der Grund, warum man mit Aufopferung eines Theils des Effectes dem Radumfange eine größere Geschwindigkeit gibt; diese sollte aber nie so weit gehen, daß das Wasser auf die äußere Fläche der Stoßschaufel trifft, und dort verspritzt.

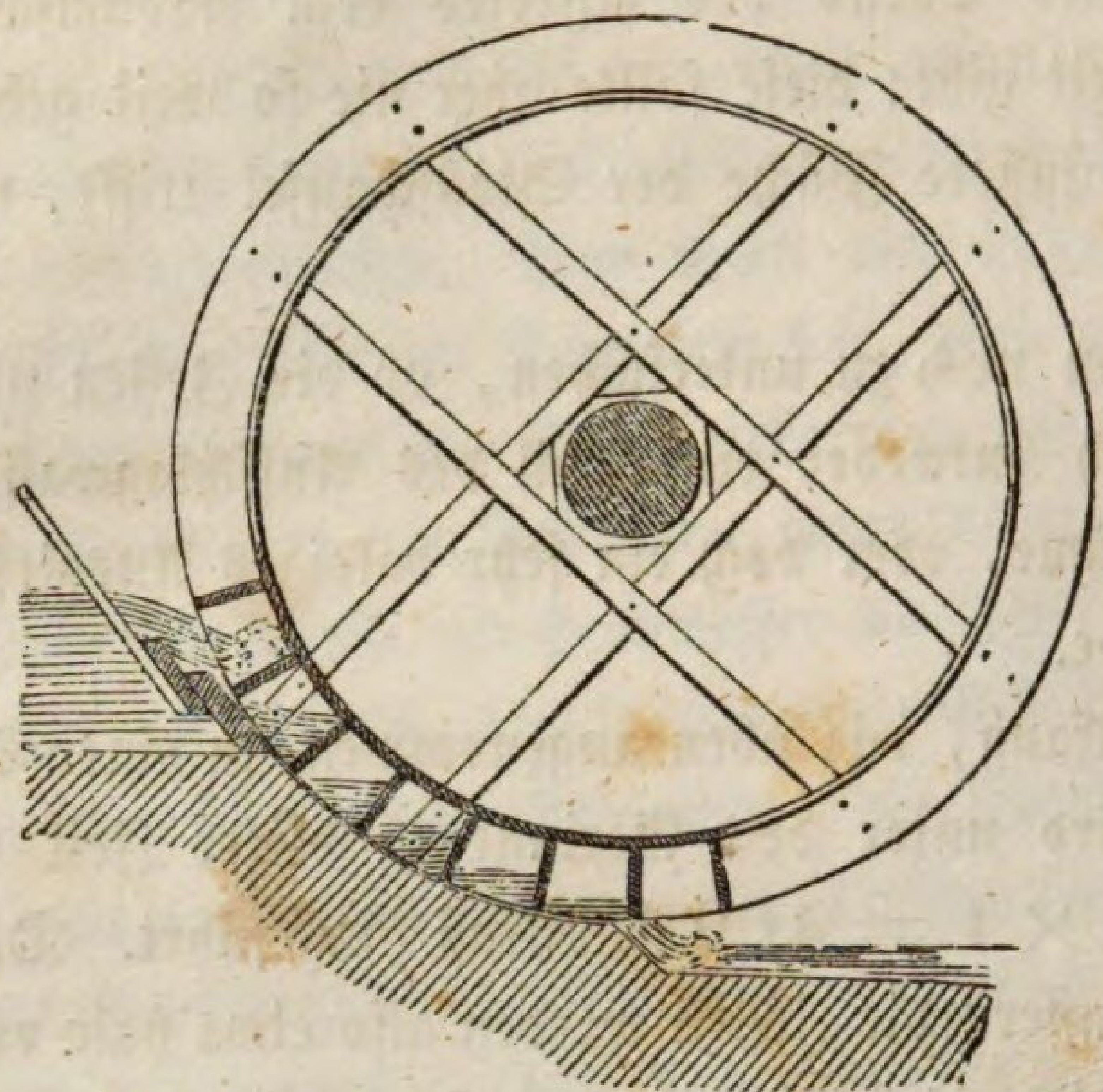
115. Zuletzt hat man noch zu untersuchen, ob die Zellen nicht überfüllt werden, wodurch entweder ein Theil des Aufschlagwassers gar nicht zur Benützung käme, oder doch ein sehr baldiges Ausgießen der Zellen verursacht würde.

Bewegt sich der Radumfang, wie oben angenommen, in einer Secunde 5 Fuß weit, so wird unter dem Gerinne in dieser Zeit ein Zellenraum von $5 \times 8{,}2 \times 1 = 41{,}0$ Kubikfuß hingeführt. Darein fallen 20 Kubikfuß Wasser; die Zellen werden also etwa halb voll. Das geht noch an, doch wird es selbst hier gut seyn, die Breite des Radkranzes von 1 Fuß um etwa einen Zoll zu vermehren. Steigt aber die Füllung der Zellen auf etwa $^2/_3$, was oben der Fall wäre, wenn das Rad nur $3^3/_4$ Fuß Geschwindigkeit gehabt hätte, so vermindert sich das Verhältniß der Arbeit des Rades zu der ganzen Kraft schon bedeutend, und dann ist es gut, die Capacität der Zellen dadurch zu vermehren, daß man entweder die Radkränze breiter nimmt, oder daß man das Rad selbst breiter macht.

116. Wir übergehen die besonderen Einrichtungen, welche man der Schütze gibt, wenn der Wasserspiegel im Zuleitungskanale sehr veränderlich ist, wie so manches andere, was die oberschlächtigen Räder betrifft, da es hier nicht unser Zweck seyn kann, eine vollständige Beschreibung aller dieser Maschinen und eine Anleitung zu ihrer Erbauung zu geben, sondern wir uns vielmehr begnügen müssen, nur die Einrichtung und ihren Zweck im Allgemeinen anzugeben und begreiflich zu machen, wie ungefähr ein Mechaniker seine Maschinen berechnet. Nachdem das letzte hier für die oberschlächtigen Räder geschehen ist, werden wir uns für die andern kürzer fassen können.

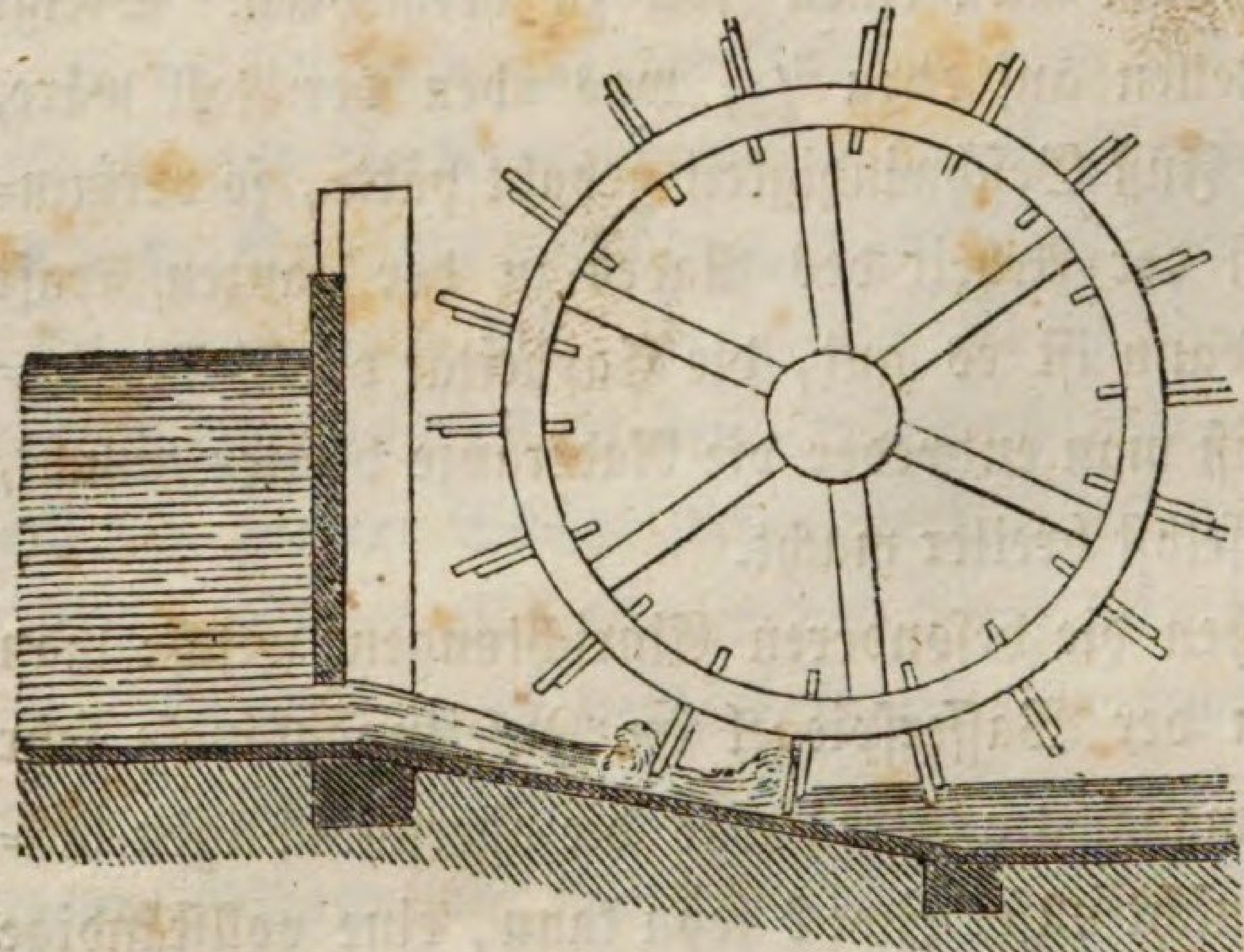
117. Unterschlächtige Räder baut man jetzt, wo die Wasserkraft eine sorgfältige Benützung erfordert, immer mit einem Kropfe, wie in Fig. 56.; und nur dort, wo eine Ersparniß an Was-

Fig. 56.



ser die größeren Baukosten des Kropfes nicht aufwiegt, und wo vor allem eine größere Geschwindigkeit des Rades gewünscht wird, dort wird man allenfalls noch Räder mit ebenen Schaufeln in ein gerades Gerinne stellen, wie in Fig. 57.

Fig. 57.

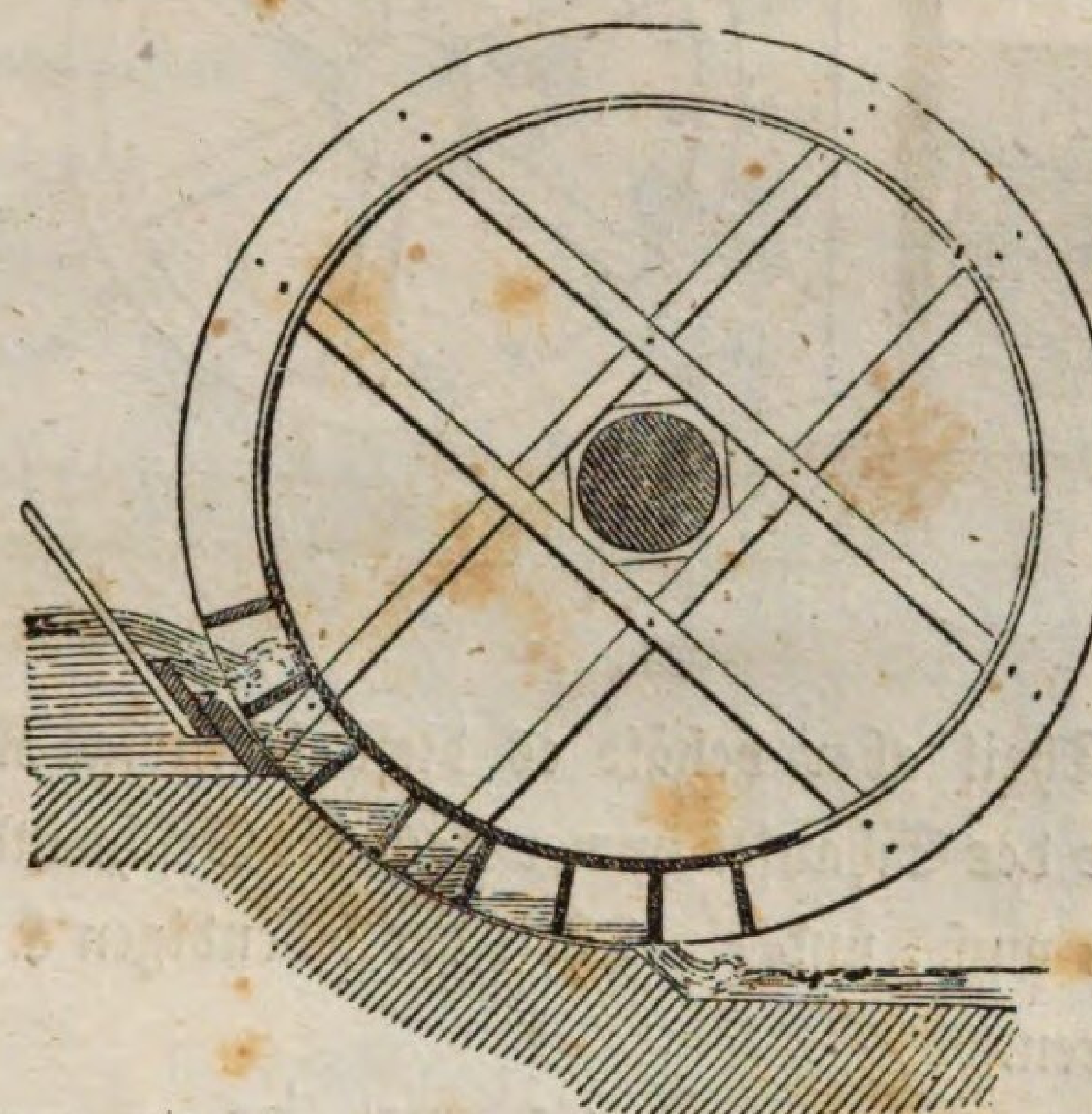


118. Man sieht leicht, daß bei den Kropfrädern mit einer Ueberfallsschütze (Fig. 56.) die Wirkung des Wassers ganz dieselbe ist, wie bei den oberschlächtigen Rädern, das Wasser füllt die Zellen, welche gewöhnlich durch die Schaufeln, die Gerinnwände auf beiden Seiten und den Kropf am Boden gebildet werden, und treibt durch sein Gewicht das Rad auf dieser Seite nieder. Unter dem Rade gibt man dem Gerinne einen Abfall, ein Risch, um die Schaufeln aus dem Hinterwasser zu bringen.

Diese Kropfräder geben, wenn sie richtig erbaut werden, ungefähr 70 Procent der ganzen Wasserkraft, wie die oberschlächtigen Räder. Es wird zwar hier ein ziemlich großer Theil der lebendigen Kraft des auf das Rad fallenden Wassers verloren, aber dafür findet die Entleerung der Zellen hier vollständig erst beim tiefsten Puncte des Rades

statt, wodurch es kommt, daß diese Räder doch ebensoviel der ganzen Wasserkraft zu Nutzen bringen, wie die oberschlächtigen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser auf das Rad kommt, liegt gewöhnlich zwischen 5 bis 6 Fuß; dem Radumfange gibt man eine Geschwindigkeit von 3 bis 4 Fuß, kann aber auch bis zu 5 und 6 Fuß ohne erheblichen Nachtheil steigen.



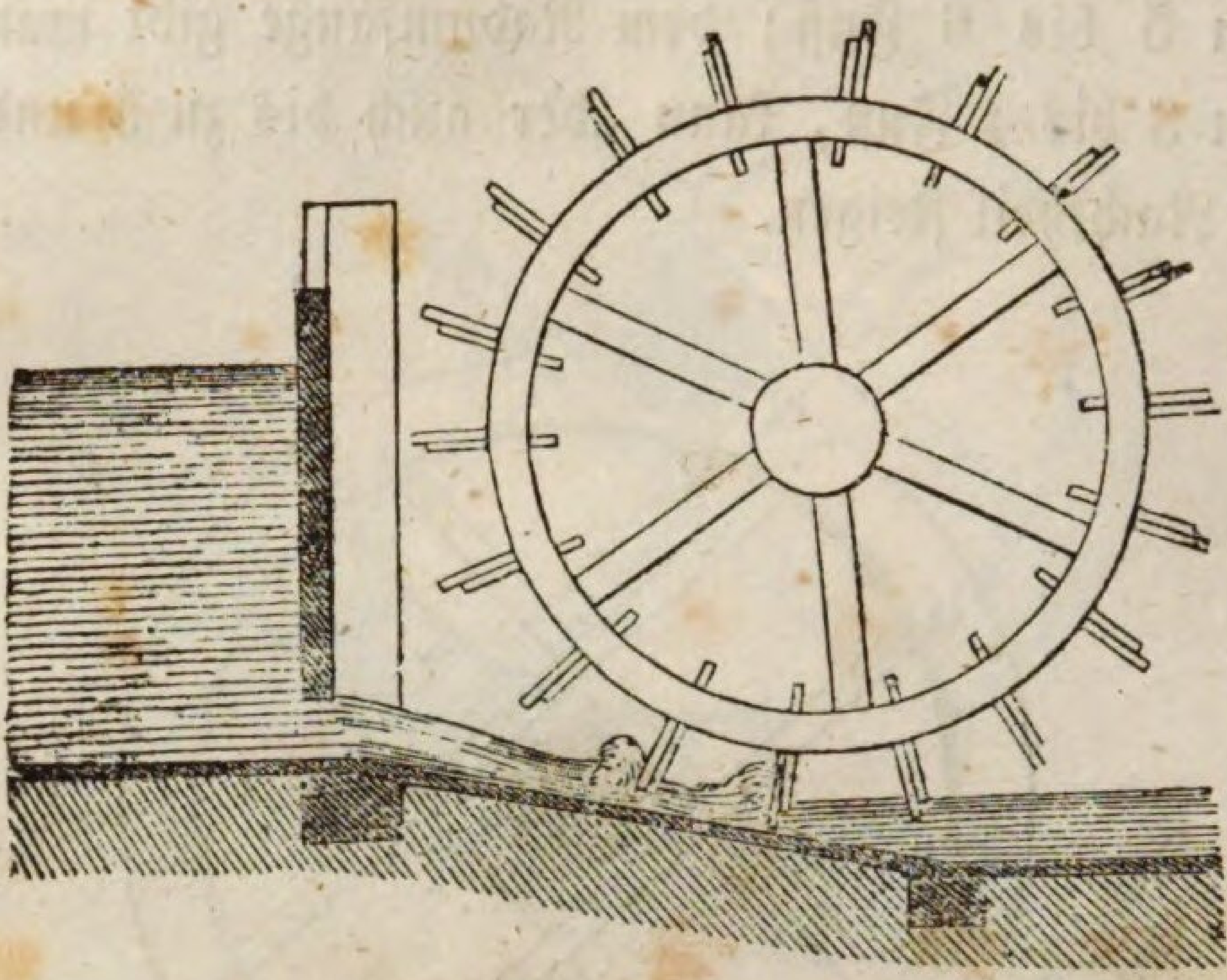
Wie man aus der Zeichnung Fig. 56. sieht, kann man bei diesen Rädern den Halbmesser nicht wohl kleiner nehmen, als das ganze Gefälle, weßhalb man sie nicht leicht bei Gefällen von 10 Fuß und darüber anwendet; sie würden hierfür zu groß, schwerfällig, und ein Umlauf würde erst in sehr langer Zeit erfolgen, was in der Regel eine große Zwischenmaschinerie zwischen dem Rade und der Arbeitsmaschine, und damit große Kosten und bedeutenden Verlust an Kraft durch die Reibung zur Folge hat.

Bei geringen Gefällen, z. B. von 3 Fuß, könnte man kleine Räder von 6 Fuß Durchmesser auf diese Weise anlegen. Ein solches würde bei 3 Fuß Geschwindigkeit des Radumfangs in einer Minute $9^1/_2$ Umdrehungen machen. Wäre das zu schnell, so dürfte man den Durchmesser des Rades nur größer machen. Wir sehen also hier wieder, wie in Nro. 100., daß bei unterschlächtigen Rädern der Durchmesser des Rades keinen Einfluß auf die Größe der Arbeit hat, den das Rad zu leisten vermag, daß aber der Durchmesser die Umlaufsgeschwindigkeit bestimmt.

In der Regel gibt aber die Lage des Kropfs und die Lage der

Achse des Rades, welche häufig durch die Localität bestimmt ist, die Größe des Durchmessers des Rades an.

119. Bei den unterschlächtigen Rädern mit geradem Gerinne



erhält das Aufschlagwasser, ehe es das Rad erreicht, die Geschwindigkeit, welche zu dem ganzen Gefälle gehört. Die lebendige Kraft, welche das Wasser so erlangt hat, trägt es zum Theil durch die Schaufeln auf das Rad über, zum Theil aber behält es diese lebendige Kraft, indem das Wasser hinter der Schaufel immer noch die Geschwindigkeit der Schaufel selbst haben muß, und ein Theil der lebendigen Kraft geht durch den Stoß verloren.

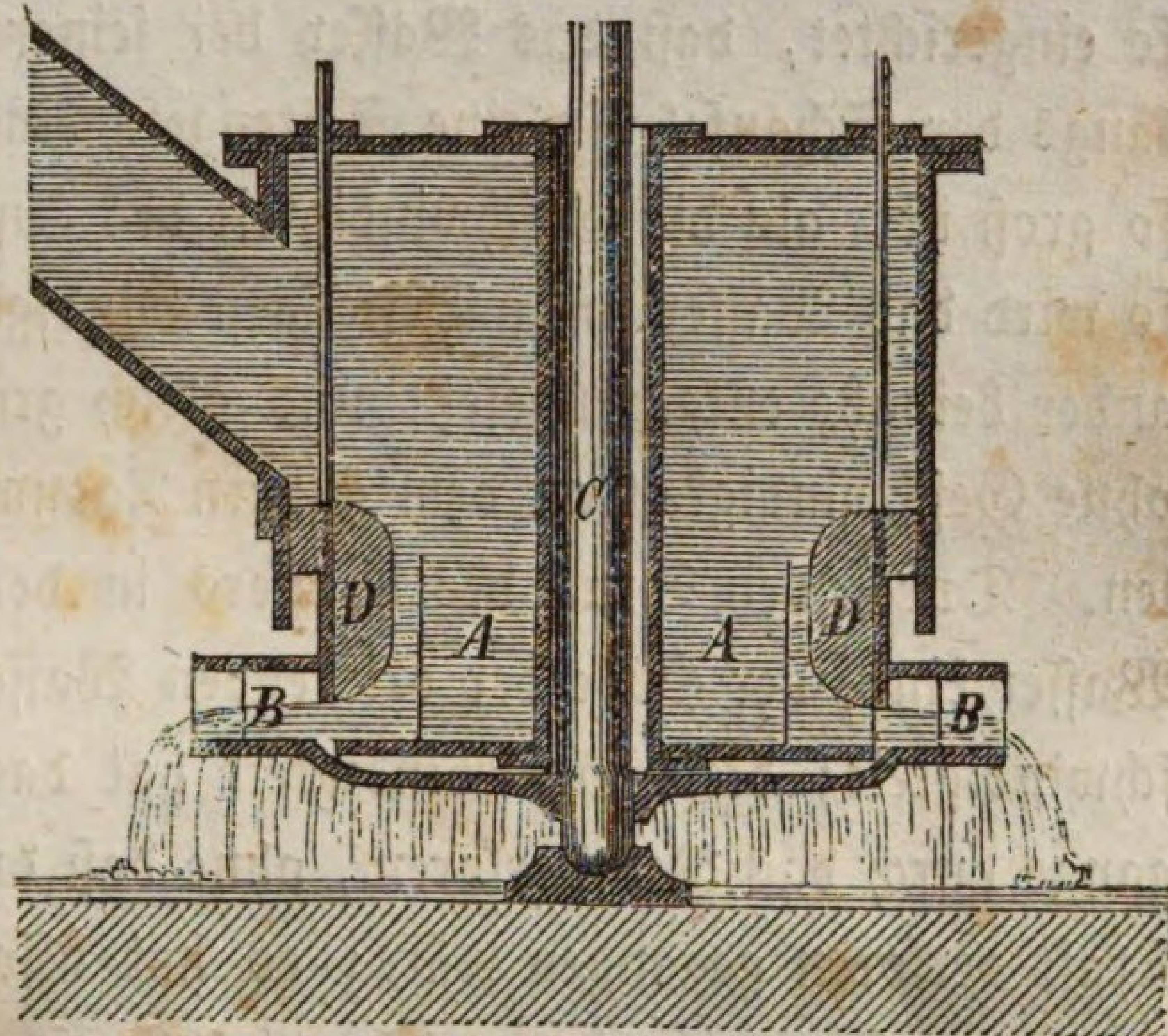
Die Berechnung dieser Räder kann ganz so geschehen, wie dieß in Nro. 98. für die frei hängenden Räder geschehen ist; auch wird hier, wie dort, der größte Effect erlangt, wenn man den Schaufeln nahe die halbe Geschwindigkeit des zuströmenden Wassers gibt. Diese Räder geben nur etwa 30 Procent von der ganzen Wasserkraft[1], und man bedarf also für ein solches Rad $^7/_3$ oder $2^1/_3$mal mehr Wasser bei demselben Gefälle, als für ein gut construirtes Kropfrad, das die gleiche Stärke hat.

120. Ein Vorzug dieser Räder ist die größere Umlaufsgeschwindigkeit derselben. Bei 3 Fuß Gefälle wird die Geschwindigkeit des Wassers ungefähr 14 Fuß, also die vortheilhafteste Geschwindigkeit der Schaufel 7 Fuß, und ein Rad von 6 Fuß Durchmesser würde hierbei schon über 22 Umläufe in einer Minute machen, während ein gleich großes Kropfrad bei diesem Gefälle nur etwa 9 Umläufe in der Minute machte. Dieß ist der Grund, warum man zuweilen jetzt noch, auch bei sorgfältigeren Anlagen, solche Räder mit ebenen Gerinnen

anlegt, und warum man häufig Räder sieht, welche zwischen diesen und den Kropfrädern in der Mitte liegen, Räder mit unvollständigem Kropfe. Diese haben eine Schütze, wie Fig. 57., und einen kurzen Kropf, wie Fig. 56.

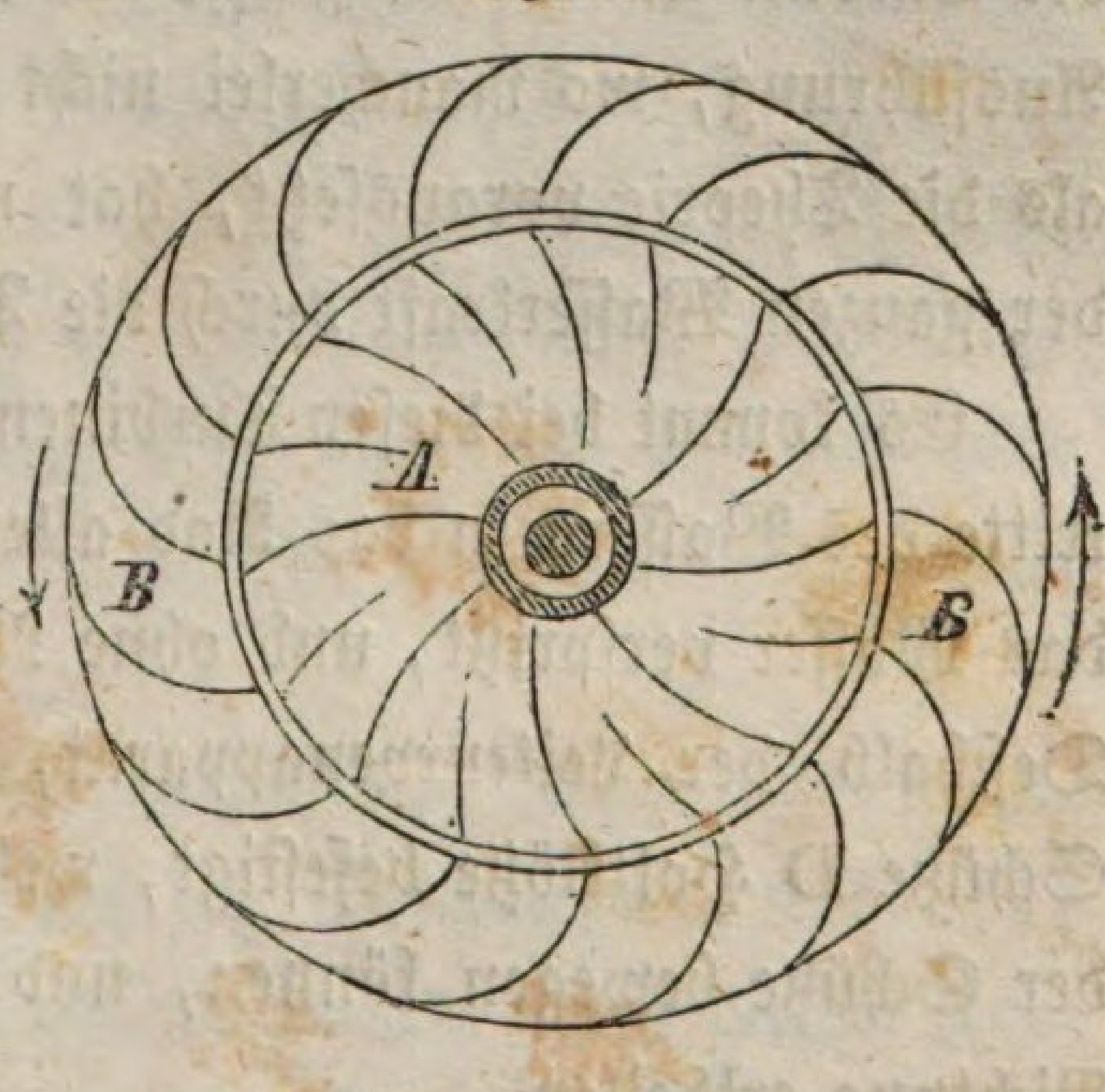
121. Die horizontalen Wasserräder, in neuerer Zeit Turbinen genannt, haben, seit Fourneyron sie vor etwa 15 Jahren sorgfältig und nach neuen Ansichten construirte, schnell eine weite Verbreitung und einen großen Ruf erlangt.

Fig. 58.



Die Figuren 58. und 59. stellen eine solche Turbine dar. Figur 58. ist ein verticaler Durchschnitt, in welchem man sieht, wie das Wasser aus dem Einfallsrohre in die Leitcurven A eintritt, und unter der ringförmigen Schütze D in das eigentliche Rad B ausströmt, welches auf der Welle C festsitzt, und sich mit dieser dreht. Die Leitcurven und das Rad mit seinen Schaufeln zeigt im Grundrisse die Figur 59. Durch den Druck des Wassers in der Einfallröhre strömt dieses mit großer Geschwindigkeit unter der Schütze hindurch auf die Schaufeln des Rades, wobei es durch die Leitcurven in A, feststehende Scheidewände von Blech, die gewünschte Richtung erhält. Mit dieser Richtung trifft es auf die Schaufeln des Rades, und ertheilt diesem eine Drehung in der Rich-

Fig. 59.



tung der Pfeile. Dabei nun sind die Schaufeln so gestellt, daß bei der Geschwindigkeit dieser Umdrehung, welche das Rad erhalten soll, das Wasser gerade an den Schaufeln hingleitet, nicht durch Stoß verspritzt, und nach der Richtung des Schaufelendes endlich das Rad verläßt, d. h. wie die Zeichnung gibt, nach einer Richtung, welche nahezu der Richtung, in welcher sich der äußere Radumfang dreht, entgegengesetzt ist. Bei dieser Bewegung des Wassers längs der Schaufel kann man seine Geschwindigkeit als zusammengesetzt aus zwei Geschwindigkeiten betrachten; einmal dreht sich das Wasser mit dem Rade, und zweitens läuft es längs der Schaufel hin. Wird nun die Maschine so eingerichtet, daß das Wasser bei seinem Austritte aus dem Rade längs der Schaufel hin eine Seitengeschwindigkeit hat, welche gerade so groß ist, als die Geschwindigkeit des äußeren Radumfanges selbst, so wird das Wasser zwei Seitengeschwindigkeiten haben, welche einander beinahe entgegengesetzt und gleich groß sind, es wird beinahe ohne Geschwindigkeit an dem äußern Radumfange gerade herunterfallen. Durch den Druck des Wassers in der Einfallröhre erhält das Wasser eine, der Höhe der drückenden Wassersäule entsprechende, Geschwindigkeit; diese Geschwindigkeit hat das Wasser bei dem Durchgange durch das Rad verloren, ohne daß durch einen Stoß lebendige Kraft verloren gegangen wäre; es hat also das Wasser seine ganze, durch den Fall erhaltene, lebendige Kraft auf das Rad übertragen, die Turbine nimmt die ganze Kraft des Wasserfalles auf, und in der Ausführung, wo mancherlei nicht so vollständig erreicht werden kann, als die Theorie voraussetzt, hat man wenigstens 70 bis 75 Procent der ganzen Wasserkraft durch die Turbine benutzen sehen.

Es kommt bei diesen Turbinen besonders darauf an, bei dem Eintritte des Wassers in das Rad allen Stoß zu vermeiden, durch welchen das Wasser verspritzt, und ohne Nutzen seine lebendige Kraft verliert. Deßhalb der Leitcurvenapparat, deßhalb hat Fourneyron an der Schütze D Holzklötze befestigt, welche zwischen den Leitcurven sich mit der Schütze bewegen können, und dem Wasser sanft eine horizontale Richtung ertheilen.

Man hat solche Turbinen bei niederen und sehr hohen Gefällen

erbaut, und immer, wenn sonst die Verhältnisse richtig getroffen waren, einen Effect von etwa 70 Procent der ganzen Wasserkraft erhalten. Die Turbinen geben schon bei niederen Gefällen eine ziemlich große Zahl von Umläufen, was sie für viele Zwecke sehr brauchbar macht. Bei sehr hohen Gefällen werden ihre Dimensionen außerordentlich klein, und dafür die Umlaufgeschwindigkeit sehr groß. In St. Blasien auf dem Schwarzwalde wird eine Baumwollenspinnerei mit einer Turbine betrieben, welche nicht mehr als 6 Zoll inneren Durchmesser hat, deren Radkranz ungefähr einen Zoll breit ist, und welche in einer Minute ungefähr 2200mal umläuft. Sie verbraucht in der Secunde etwas mehr als einen Kubikfuß Wasser, welches ihr durch eine Röhrenleitung von einer Höhe von 360 Fuß zugeführt wird. Dieses kleine Maschinchen gibt ungefähr 30 Pferdekräfte.

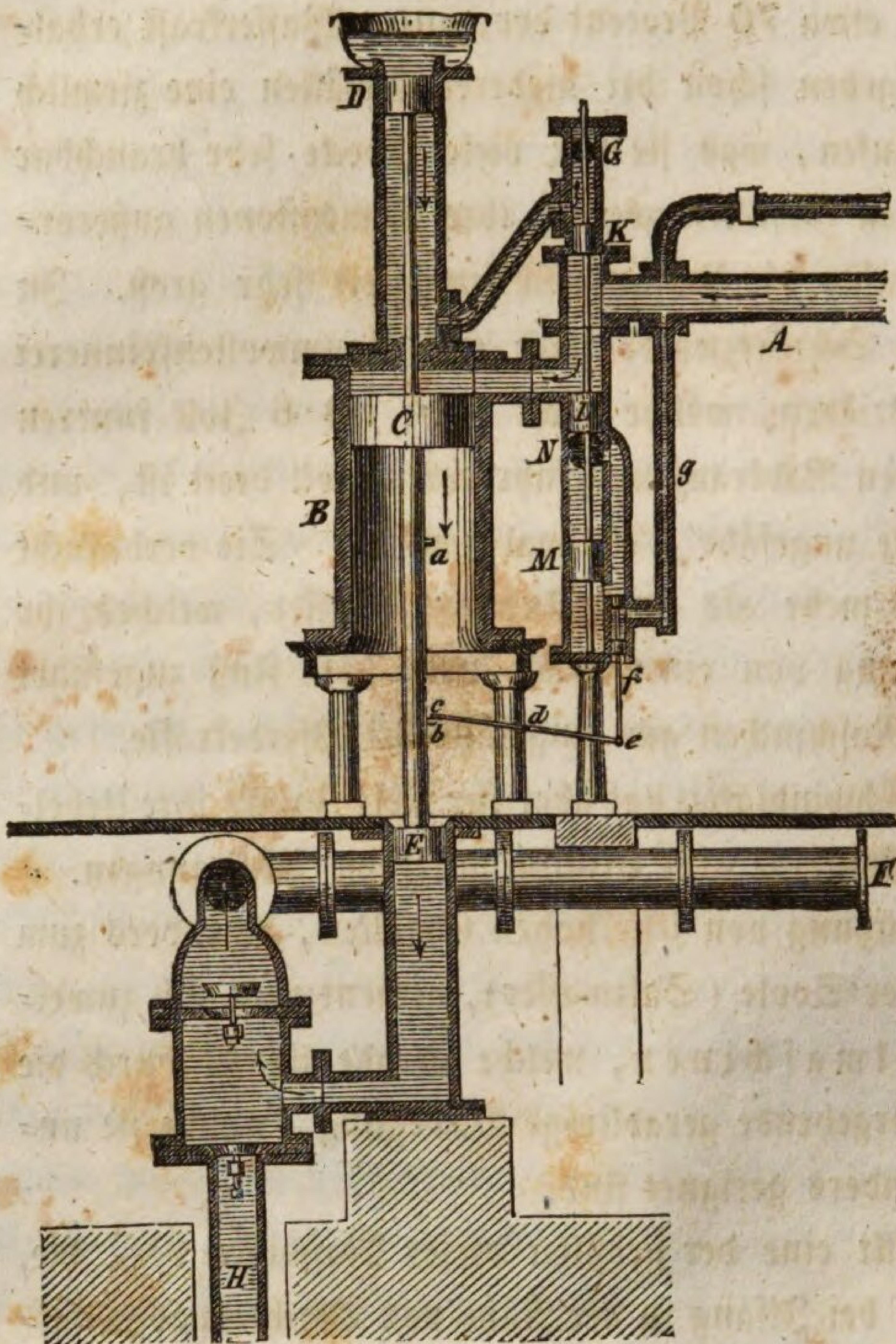
Eine so große Geschwindigkeit hat aber für viele Zwecke ihre Uebelstände; die folgende Maschine gibt ziemlich langsame Bewegungen.

122. Zur Benützung von sehr hohen Gefällen, besonders zum Heben von Wasser oder Soole (Salzwasser), bedient man sich zuweilen der Wassersäulmaschinen, welche gerade hierzu durch die langsame hin- und hergehende geradlinige Bewegung, welche sie unmittelbar geben, besonders geeignet sind.

Die Fig. 60. stellt eine der größten dieser Maschinen dar, die, welche Reichenbach bei Ilsang in der Nähe von Berchtesgaden aufstellte, um die Soole, welche aus den Salzwerken bei Reichenhall gewonnen, und nach Traunstein und Rosenheim gebracht werden soll, einen Hügel von 1260 Fuß Höhe in einem Hube hinaufzuschaffen, wozu er eine Quelle benützte, welche 387 Fuß hoch über dem Thale gefaßt werden konnte. Die Zeichnung zeigt außer der Kraftmaschine zugleich die mit ihr verbundene Arbeitsmaschine, die Pumpe, welche die Soole hebt.

Durch die Röhre A tritt das Aufschlagwasser herein und fließt, wie die Pfeile zeigen, in den Haupttheil der Maschine, den Stiefel B, in welchem sie den Kolben C abwärts drückt. Mit diesem Kolben sind durch eine Stange fest verbunden der Kolben D, dessen Zweck nachher vorkommt, und der Kolben E, welcher in der Pumpe die Soole

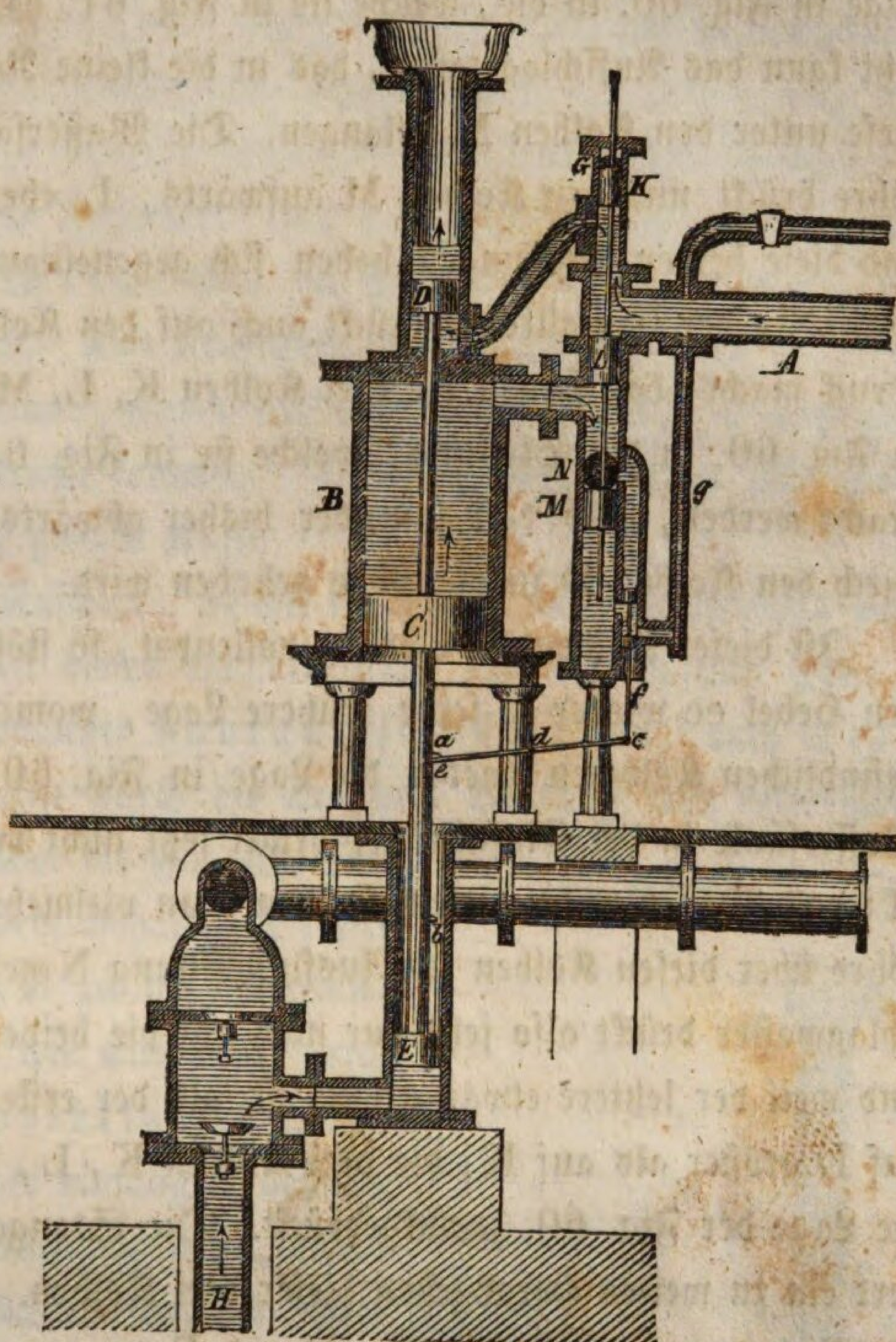
Fig. 60.



durch die Röhre F forttreibt, welche 1260 Fuß hoch hinaufsteigt. Das Wasser, das unter dem Kolben D in dem obern Cylinder sich findet, tritt beim Niedergange dieses Kolbens nach der Richtung der Pfeile durch die Oeffnung G aus der Maschine. So werden also durch den Druck des Aufschlagwassers, das in der Einfallröhre A 387 Fuß hoch über dem Kolben C steht, dieser und die beiden D und E abwärts gedrückt, bis sie endlich in die Lage der Fig. 61. kommen. Durch eine Vorrichtung, welche sogleich beschrieben werden soll, haben sich in der letzten Zeit des Niedergangs der drei Kolben C, D und E in der Seitenröhre die drei Kolben K, L und M anders gestellt, und haben jetzt die Lage, wie in Fig. 61.

Das Aufschlagwasser tritt noch immer durch die Röhre A herein, aber der Kolben L verschließt ihm nunmehr den Weg zu dem großen Stiefel B; das Aufschlagwasser muß vielmehr jetzt, wie die Pfeile zeigen, unter den Kolben D treten, und wird durch seinen Druck diesen Kolben und die damit befestigten C und E heben, und dieß ist eben der Zweck von D. Damit das Heben des Kolbens C möglich ist, muß dem Wasser, das bei dem Niedergange über ihn gekommen ist, ein

Fig. 61.



Ausweg dargeboten seyn; die Pfeile zeigen, wie dieses Wasser zu der Öffnung N kommt, durch welche es aus der Maschine tritt.

Der Kolben E saugt bei diesem Aufgang durch die Röhre H die Soole an, welche dem Kolben nachsteigt, und endlich den Raum unter E füllt, wie dieß in Fig. 60. angedeutet ist.

Der Kolben D konnte viel kleiner seyn, als der Kolben C, weil das Saug- und Druckwerk, welches die Soole fördert, so gestellt werden mußte, daß zum Saugen beim Aufgange des Kolbens E viel weniger Kraft erfordert wird, als zum Drucke beim Niedergange dieses Kolbens.

Wir haben noch zu sehen, wie beim Ende des jedesmaligen Weges des Kolbens C die drei mit einander fest verbundenen Kolben K, L und M sich heben oder sinken.

An der Stange, welche die beiden Kolben C und E verbindet, sind bei a und b kleine hervorragende Stifte angebracht; sobald nun der Kolben C seinem tiefsten Stande sich nähert, trifft der Stift a den Hebel ec, welcher um d sich drehen kann, und drückt diesen in die Lage, welche er in Fig. 61. hat. Bei dieser Drehung hat das Ende c

des Hebels die beiden an der Stange f befindlichen Kölbchen aus der Lage in Fig. 60. in die, welche sie in Fig. 61. haben, gebracht, und jetzt kann das Aufschlagwasser, das in die kleine Röhre g tritt, durch diese unter den Kolben M gelangen. Die Wassersäule in der Einfallröhre drückt nun den Kolben M aufwärts, L eben so stark abwärts, und diese beiden Pressungen heben sich gegeneinander auf; aber das Wasser in der Einfallröhre drückt auch auf den Kolben K, und dieser Druck macht, daß schnell die drei Kolben K, L, M aus der Stellung in Fig. 60. in die Stellung, welche sie in Fig. 61. einnehmen, gebracht werden, und daß nun der bisher abwärts gehende Kolben C durch den Kolben D in die Höhe gehoben wird.

Ist dieser Kolbenhub beinahe vollendet, so stößt nun der Stift b den Hebel ec wieder in seine frühere Lage, womit zugleich die an f befindlichen Kölbchen wieder die Lage in Fig. 60. annehmen. Die Wassersäule in der Einfallröhre drückt jetzt nicht mehr auf den Kolben M; das Wasser unter diesem Kolben kann vielmehr durch die Seitenröhre über diesen Kolben zur Ausflußöffnung N gelangen. Das Aufschlagwasser drückt also jetzt nur noch auf die beiden Kolben K und L, und weil der letztere etwas größer ist, als der erste, ist auch der Druck auf L größer als auf K, die drei Kolben K, L, M werden rasch in die Lage der Fig. 60. zurückgedrückt. Die Stange unterhalb M hindert ein zu weites Herabgehen dieser drei Kolben. Jetzt fängt wieder der Niedergang der Kolben C, D und E an.

So bewirkt die Maschine selbst die Stellung der Kolben K, L und M, die Steurung, und bewirkt damit den Wechsel des Hin- und Hergangs.

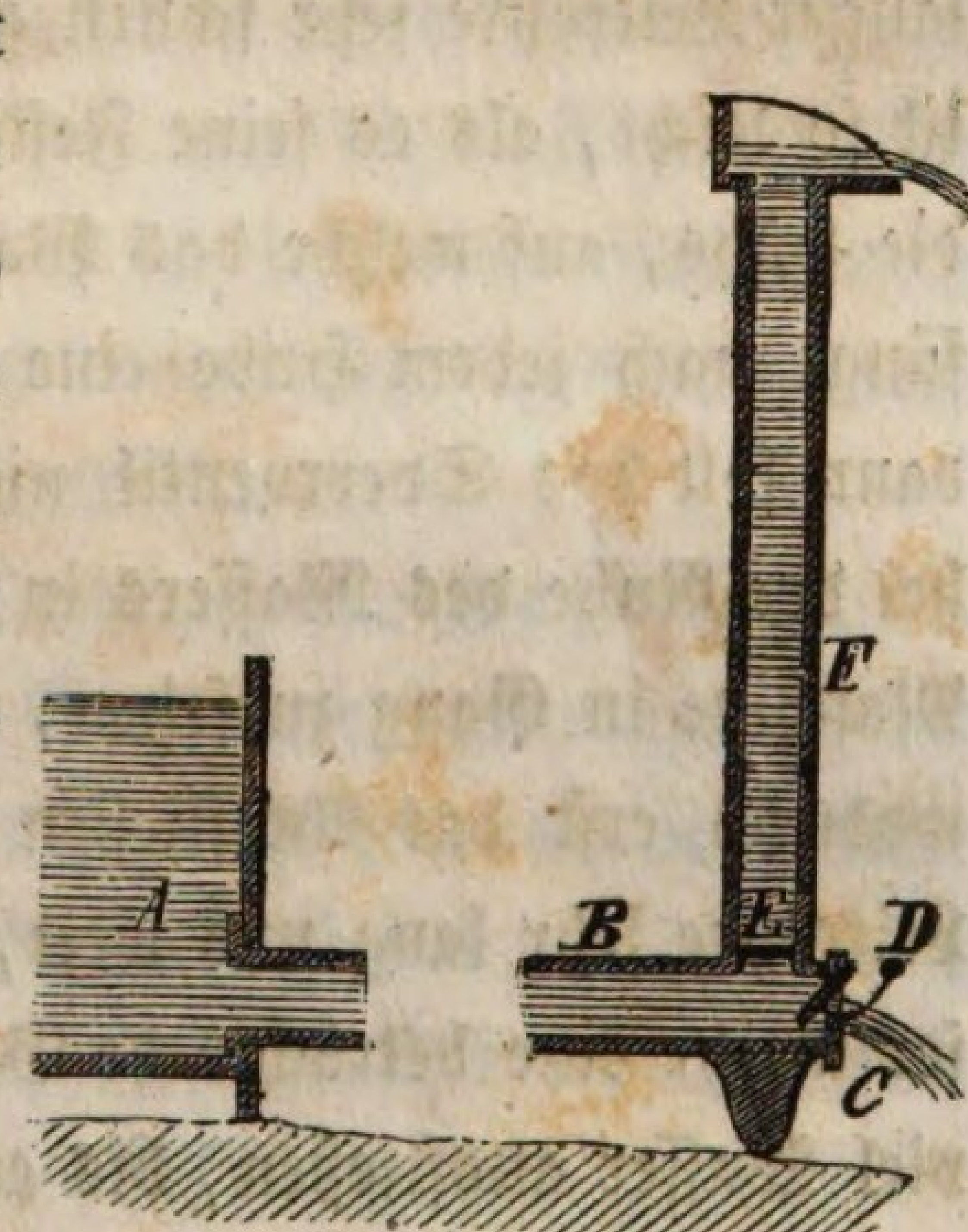
Soll die Maschine zum Stillstand gebracht werden, so genügt es, die Röhre g zu verschließen, wozu ein Hahn in dieser angebracht ist. Eine Klappe, welche in der Röhre A angebracht ist, dient zur Regulirung des Gangs der Maschine; durch ihr weiteres oder geringeres Oeffnen wird der Zufluß des Wassers vermehrt oder vermindert, und dadurch die Maschine in schnelleren oder langsameren Gang gebracht.

Diese Maschine macht in einer Stunde ungefähr 130 Kolbenhübe, jeden von 3,5 Fuß, und dabei entspricht die Arbeit derselben 14½

Pferdskräften, welche sich aber bei reichlicherem Zuflusse des Wassers auf 18 bis 19 steigern kann. Es werden nämlich auf die Höhe von 1260 Fuß bei jedem Kolbenhube 160 Pfd. Soole gehoben, also eine Arbeit von 1260 × 160 = 201600 Fußpfund; davon kommt auf eine Secunde 7280 Fußpfund oder 14½ Pferdskräfte. Der Verbrauch an Wasser ist 1020 Pfd. für jeden Kolbenhub, welche 387 Fuß tief herabfallen. Der Kraftaufwand beträgt also 387 × 1020 = 394740 Fußpfund, wovon auf eine Secunde 1096,5 Fußpfund oder 28½ Pferdskräfte kommen. Der Nutzeffect beträgt also etwas über die Hälfte der ganzen Kraft.

123. Eine Maschine, welche die Kraft eines Wasserfalls dazu benützt, einen Theil dieses Wassers selbst auf eine größere Höhe zu heben, ist der sogenannte hydraulische Widder, auch Stoßheber genannt; eine durch die Art ihrer Wirkung sehr interessante Maschine, von welcher die Fig. 62. eine Ansicht gibt. Aus dem Behälter A führt eine Röhrenleitung B zu der Ausflußöffnung C, welche, wie man sieht, durch eine Klappe, die Sperrklappe, welche bei D durch Gewichte hinlänglich belastet ist, um bei dem Stillstande des Wassers in der Röhre B zurückzusinken, sich schließen kann.

Fig. 62.



Sobald dieses Zurücksinken geschehen ist, fängt das Wasser an, bei C auszufließen, wodurch nach und nach die Wassermasse in der Röhre B eine immer größere Geschwindigkeit erlangt. Bei der größeren Geschwindigkeit des Wassers wächst der Druck auf die Klappe C, und schlägt diese endlich, wenn das Gewicht D richtig gewählt ist, zu. Der Ausfluß des Wassers bei D ist nun plötzlich gehemmt; die Wassermasse in der Röhre B hat aber eine gewisse Geschwindigkeit, und damit eine lebendige Kraft; sie wird also einen andern Ausweg suchen, und den findet sie durch die Klappe E, durch welche das Wasser in die Steigröhre F

sich ergießt, wobei durch jene lebendige Kraft die in dieser Steigröhre befindliche Wassersäule gehoben werden muß.

Der Widerstand dieser Wassersäule wird sehr bald der Wassermasse in B ihre lebendige Kraft genommen haben, um so bälder, je höher die Steigröhre ist. Die Klappe bei E wird zufallen, und das Wasser in B wieder in Ruhe seyn, wenn es nicht sogar eine kleine rückgängige Bewegung gegen den Behälter A annimmt. Jetzt wird die Klappe bei C durch das Gewicht D wieder aufgedrückt, und das Spiel der Maschine von neuem beginnen.

Man sieht leicht ein, worauf es bei der vortheilhaften Anlage einer solchen Maschine ankommt.

Zuerst wird das Sperrventil C so belastet seyn müssen, daß es zurückfällt, und daß es sich schnell schließt, sobald das Wasser in der Röhre B die Geschwindigkeit erlangt hat, welche der Druckhöhe zukommt. Da dieses bei gehörig weiter Ausflußöffnung und nicht zu langer Leitröhre sehr schnell geschieht, so nimmt man das Sperrventil so leicht, als es seine Festigkeit und das Zurücksinken erlaubt. Ist die Höhe, auf welche das Wasser gehoben wird, etwas beträchtlich, so fängt nach jedem Hube eine rückgängige Bewegung in B an, und dann soll das Sperrventil nicht einmal so weit belastet seyn, daß es bei der Ruhe des Wassers in der Leitröhre zurücksinkt. Um dann die Maschine in Gang zu setzen, muß man das Sperrventil zurückdrücken, wodurch erst das Ausfließen des Wassers eingeleitet wird. Ist die Leitröhre sehr lang und weit, so wird es lange dauern, bis das Wasser in ihr eine beträchtliche Geschwindigkeit angenommen hat; es wird viel Wasser ausfließen, bis endlich das Sperrventil sich schließt. Ist dagegen die Leitröhre sehr kurz, so wird nur wenig Wasser beim Schlusse des Sperrventils eine Geschwindigkeit erlangt haben, also auch die lebendige Kraft dieser Wassermasse nur gering seyn, also wenig Wasser gehoben werden. Daß man die Steigröhre und die Sperrklappe nahe zusammen legen müsse, sieht man leicht ein.

Beim Schlusse der Sperrklappe wird das bewegte Wasser überall hin einen Ausweg suchen. Sind die Wände der Leitungsröhre dünn, so werden diese ausgebeugt werden, und es wird ein Theil der erlangten

lebendigen Kraft verloren gehen; man wird daher die Leitröhre sehr stark nehmen müssen.

Bei der Anordnung, wie sie in Fig. 62. dargestellt ist, muß jedesmal nach dem Schlusse der Sperrklappe die Wassermasse in der Steigröhre auf's Neue aus der Ruhe in Bewegung gesetzt werden, wozu ein besonderer Kraftaufwand gehört, und wodurch auch die Maschine selbst sehr bedeutenden Stößen ausgesetzt ist. Man umgeht dieses durch Anbringung eines sogenannten Windkessels, über dessen Construction und Zweck ich auf das nächste Buch verweise.

Eine brauchbare mathematische Theorie des hydraulischen Widders hat man noch nicht; die Construction wird gewöhnlich nach den von Eytelwein aus Versuchen abgeleiteten Regeln vorgenommen.

§. 2. Von der Kraft der Luft.

124. Daß die Luft ausdehnsam, elastisch ist, das heißt, daß sie jeden ihr gebotenen Raum erfüllt, und sich in jeden kleineren Raum zusammendrücken läßt, ist bekannt. So wie wir die Luft gewöhnlich sehen, ist sie durch das Gewicht aller über ihr liegenden Luft, durch den Druck einer Atmosphäre zusammengepreßt, und hält durch ihre Elasticität diesem Drucke das Gleichgewicht.

Wie dieser Druck gemessen werden könne, zeigte Toricelli. Er nahm eine, am einen Ende geschlossene Glasröhre von ungefähr 30 Zoll Länge, füllte diese mit Quecksilber, verschloß das obere Ende der Röhre, nachdem durch das Quecksilber alle Luft aus derselben verdrängt war, kehrte nun die Röhre um, und tauchte das zugehaltene Ende der Röhre unter Quecksilber. Als nun das eingetauchte Ende der Röhre geöffnet wurde, zeigte sich folgende Erscheinung. Das Quecksilber in der Röhre sank herab, bis es etwa 28 Zoll hoch über dem Spiegel des Quecksilbers in dem Gefäße, in das die Röhre taucht, stehen blieb. Luft konnte bei diesem Versuche keine in die Röhre kommen, der Raum der Röhre oberhalb der Quecksilbersäule war also luftleer; was aber hinderte die Quecksilbersäule, herabzusinken bis um Niveau des Quecksilbers im untergestellten Gefäße? Es ist nichts vorhanden, was diese Quecksilbersäule tragen könnte, als die äußere

Luft. Es steht also der Druck der Luft mit dem Drucke einer Quecksilbersäule von 28 Zoll Höhe im Gleichgewichte, oder jener ist diesem gleich.

Unter den Zollen sind hier die sogenannten Pariser Zolle zu verstehen, wie sie bei den gewöhnlich vorkommenden Barometern gebraucht werden. Man sieht leicht, daß unsere Barometer nichts anderes sind, als solche Röhren, wie sie Toricelli brauchte.

125. Von dem Barometer weiß Jedermann, daß das Quecksilber in ihm bald höher, bald niedriger steht, daß also der Druck der Atmosphäre bald größer, bald kleiner wird. Um aber für die Pressung der Luft ein bestimmtes Maaß zu haben, nennt man in der Mechanik den Druck **einer Atmosphäre** einen Druck, der gleich ist dem Drucke einer Quecksilbersäule von 28 Pariser Zoll Höhe.

126. Die Luft sucht sich nach allen Seiten hin auszudehnen, sie drückt also auf jede Fläche, mit welcher sie in Berührung steht. Auf eine Fläche von 1 Quadratfuß Größe wird hiernach der Druck einer Atmosphäre gleich seyn mit dem Drucke einer Quecksilbersäule, welche diesen Quadratfuß zur Grundfläche und 28 par. Zoll Höhe hätte. Der Druck einer solchen Quecksilbersäule ist aber ihrem Gewichte gleich, und dieß wollen wir berechnen.

28 pariser Zoll sind 2,533 Fuß (bad)., und die gedachte Quecksilbersäule hat daher einen Kubikinhalt von 2,533 K.-Fuß. 2,533 K.-F. Wasser wiegen $2{,}533 \times 54 = 136{,}8$ Pfund. Das Quecksilber ist 13,6mal schwerer, als Wasser; die Quecksilbersäule wiegt daher 1860 Pfd. Der Druck einer Atmosphäre auf einen Quadratfuß beträgt also 1860 Pfund.

Die Maaße, welche ich hier gebraucht habe, sind badische. Bei der deutschen Zerrissenheit hat auch wieder jedes deutsche Land seine besondere Zahl für den gleichen Druck einer Atmosphäre. So ist dieser Druck auf einen Quadratfuß für den Württemberger 1800 Pfd.

127. Die Luft läßt sich zusammendrücken, und dabei wächst ihre Elasticität, die Kraft, mit welcher sie sich auszudehnen sucht. Mariotte hat das Gesetz, nach welchem die Elasticität wächst, wenn die Luft in einen kleineren Raum gebracht wird, auf folgende Weise untersucht.

Fig. 63.



Er nahm eine Glasröhre, welche, wie in Fig. 63., umgebogen war, den kürzeren Schenkel oben verschlossen, den längern offen. In diese Röhre brachte er zuerst etwas Quecksilber, so daß die untere Biegung der Röhre davon erfüllt, und die Luft im kürzeren Schenkel abgeschlossen wurde. Diese Luft befand sich noch in dem Zustande der äußeren Luft, sie befand sich also unter dem Drucke einer Atmosphäre. Nun goß Mariotte in den längeren Schenkel Quecksilber zu. Dieses Quecksilber drückte die Luft in dem kürzeren mehr und mehr zusammen. Als die Luft in dem kürzeren Schenkel noch die Hälfte des Raums einnahm, den sie früher inne hatte, also das Quecksilber bis c in diesen Schenkel eingedrungen war, stand diese Luft noch immer unter dem Drucke der atmosphärischen Luft, welche bei b auf das Quecksilber drückte, aber außerdem auch noch unter dem Drucke der Quecksilbersäule, welche in dem längern Schenkel der Glasröhre über dem Niveau durch c stand. Mariotte maß die Höhe dieser Quecksilbersäule ab, und fand sie gleich 28 Par. Zoll, was wieder der Druck einer Atmosphäre ist. Er hatte also gefunden, daß Luft unter dem Drucke von zwei Atmosphären nur halb so viel Raum einnimmt, als bei dem Drucke von einer Atmosphäre, und ebenso fand er nachher, daß unter dem Drucke von drei Atmosphären die Luft in den dritten Theil ihres ursprünglichen Raumes zusammengedrückt wird.

Der Raum, den Luft inne hat, nimmt in dem Verhältnisse ab, in welchem der Druck auf diese Luft zunimmt. Dieser Satz heißt gewöhnlich das Mariotte'sche Gesetz.

128. Die häufigste Anwendung der Elasticität der Luft als bewegende Kraft kommt bei den sogenannten Saugwerken vor. Wird in einer Röhre, welche unten in Wasser steht, auf irgend eine Weise oben der Luftdruck aufgehoben, so wird durch den Druck der äußern Luft auf das Wasser dieses in die Röhre steigen, und zwar so weit, bis die erhobene Wassersäule diesem Drucke der Luft das Gleichgewicht hält. Wir haben also zuerst die Frage zu beantworten, wie weit steigt Wasser in einer luftleeren Röhre durch den Druck einer Atmosphäre?

Wie wir oben gesehen haben, ist der Druck einer Atmosphäre gleich dem Drucke einer Quecksilbersäule von 28 Pariser Zoll Höhe; Wasser ist 13,6mal leichter, als Quecksilber, es wird also durch denselben Druck 13,6mal höher gehoben werden, als jenes, also auf 13,6 × 2,5 oder auf 34 Fuß.

Drückt zusammengepreßte Luft auf das Wasser, so wird dieses höher steigen; ist die Luft auf die Hälfte ihres früheren Raums zusammengedrückt, so drückt sie dagegen mit zwei Atmosphären, und wird also Wasser auf eine Höhe von 2 × 34 = 68 Fuß erheben; bei drei Atmosphären Spannung der Luft auf 3 × 34 = 102 Fuß u. s. w.

129. Bei einer Saugpumpe, wie sie z. B. bei der in den Fig. 60. und 61. auf Seite 114 und 115 vorgestellten Wassersäulmaschine vorkommt, wird der Kolben E in die Höhe gezogen, und dadurch entsteht unter ihm ein, zuerst in Luft verdünnter, später auch ein luftleerer Raum. Die Luft unter dem Saugventile, welches die Saugröhre H oben schließt, drückt dieses nach oben, und nimmt an der Verdünnung Theil. In dem Maaße, als diese Luft verdünnt wird, drückt sie schwächer auf das im untern Ende der Saugröhre befindliche Wasser; der Druck der äußern Luft erhält das Uebergewicht, und drückt das Wasser in der Saugröhre in die Höhe. Dieses Wasser tritt entweder schon beim ersten, oder doch bei einem späteren Hube des Kolbens E über das Saugventil.

Hat nun der Kolben seinen höchsten Stand erreicht, und fängt er wieder an, rückwärts zu gehen, so wird durch sein eigenes Gewicht und durch den Druck der Luft und des Wassers von oben nach unten das Saugventil zufallen. Luft und Wasser oberhalb desselben werden durch den herabgehenden Kolben E verdrängt, drücken das Steigventil, das nach der Röhre F führt, auf, und treten durch dieses Ventil in die Röhre F.

Nach einigen Hüben muß, wenn die Pumpe richtig construirt ist, die Luft alle hinausgeschafft sein; dann folgt beim Aufgange des Kolbens diesem das Wasser aus der Saugröhre nach, und das Wasser, das über das Saugventil getreten ist, wird beim Niedergange des Kolbens durch das Steigventil fortgetrieben.

130. Das Wasser folgt dem steigenden Kolben durch den Druck der äußeren Luft. Dieser Druck kann aber das Wasser nur 34 Fuß hoch erheben. Daraus folgt, daß der Kolben bei seinem höchsten Stande nicht mehr als 34 Fuß über dem Spiegel des zu hebenden Wassers stehen darf. Weil aber der Kolben niemals luftdicht schließt, weil die Saugröhre Luft durchlassen kann, weil das Wasser Dämpfe bildet, und weil der Barometerstand nicht immer 28 Zoll ist, nimmt man für den höchsten Stand des Kolbens niemals 34 Fuß über dem Wasserspiegel, sondern höchstens 24 und noch weniger.

Durch das Steigventil wird das Wasser zu jeder beliebigen Höhe getrieben werden können, wenn der Druck auf den Kolben groß genug ist; wie denn in dem Beispiele, das die angeführten Zeichnungen angeben, Soole, Salzwasser, das schwerer als Wasser ist, über 1200 Fuß hoch gehoben wird.

131. Beim Saugen hebt also die Luft das Wasser in die Steigröhre. Welches ist nun aber die Größe der Kraft, mit welcher der Kolben in die Höhe gezogen werden kann?

Auf den Kolben drückt die Atmosphäre, also ein Druck, der gleich groß ist mit dem Gewichte einer Wassersäule, welche auf diesem Kolben steht, und welche 34 Fuß hoch ist.

Auf das Unterwasser drückt die Atmosphäre, welche dieses in die Saugröhre 34 Fuß hoch hinauftreiben würde, wenn nicht der Kolben entgegenstände. Ist dieser z. B. 20 Fuß hoch über dem Unterwasser angebracht, so wird der atmosphärische Druck diesen Kolben selbst noch in die Höhe zu treiben suchen, mit der Kraft, mit welcher er eine Wassersäule noch 34 — 20 = 14 Fuß über die Höhe des Kolbens hinauf heben würde, oder was dasselbe ist, auf den Kolben drückt von unten nach oben eine Kraft gleich dem Drucke einer Wassersäule von 14 Fuß. Von dem Drucke, der den Kolben von oben nach unten treibt, bleibt also noch der Druck einer 34 — 14 = 20 Fuß hohen Wassersäule übrig, oder allgemeiner man muß den Kolben mit einer Kraft in die Höhe ziehen, als hänge eine Wassersäule von seinem Querschnitte und der Tiefe bis zum Unterwasser an ihm.

Die Luft dient hiernach nicht zur Ersparniß von Kraft, sondern sie überträgt nur die Kraft, die den Kolben bewegt, auf das Wasser, und deßhalb gehört diese Maschine eigentlich in das folgende Buch.

132. Bei dem Saug- und Druckwerke, wie es in Fig. 60. und 61. durch die Reichenbach'sche Wassersäulenmaschine bewegt, abgebildet ist, ist der Druck auf den Kolben beim Niedergange gleich dem Drucke einer Wassersäule (eigentlich Soolsäule), welche den Querschnitt des Kolbens und die ganze Steighöhe über dem Stande des Kolbens zur Höhe hat. Diese ist ungefähr 1250 Fuß. Auf jeden Quadratfuß des Querschnittes des Kolbens drückt also das Gewicht von 1250 Kubikfuß Soole, was ungefähr $1250 \times 60 = 75000$ Pfd. beträgt, und diese Kraft muß beim Niedergehen des Kolbens auf jeden Quadratfuß desselben ausgeübt werden.

Beim Aufgange, wo die Soole nur vielleicht 10 Fuß hoch gehoben wird, ist das an jedem Quadratfuße des Kolbens E hängende Gewicht nur $10 \times 60 = 600$ Pfd. Beim Niedergange von $3^1/_2$ Fuß Tiefe treibt der Kolben E eine Flüssigkeitsmenge vor sich her, welche dem von ihm durchlaufenen Raume gleich ist, das ist für den Quadratfuß Querschnitt $3^1/_2$ Kubikfuß, und soviel Soole wird also dabei oben ausfließen, oder auf die Höhe von 1250 Fuß gefördert. Der Kraftaufwand ist $75000 \times 3^1/_2 = 262500$ Fußpfund. Die gelieferte Arbeit ist $3^1/_2$ K.-Fuß oder $3^1/_2 \times 60 = 210$ Pfd. Soole auf 1250 Fuß erhoben, oder $210 \times 1250 = 262500$ Fußpfund gleich dem Kraftaufwande; ebenso ist beim Aufsteigen des Kolbens der Kraftaufwand der Arbeit gleich.

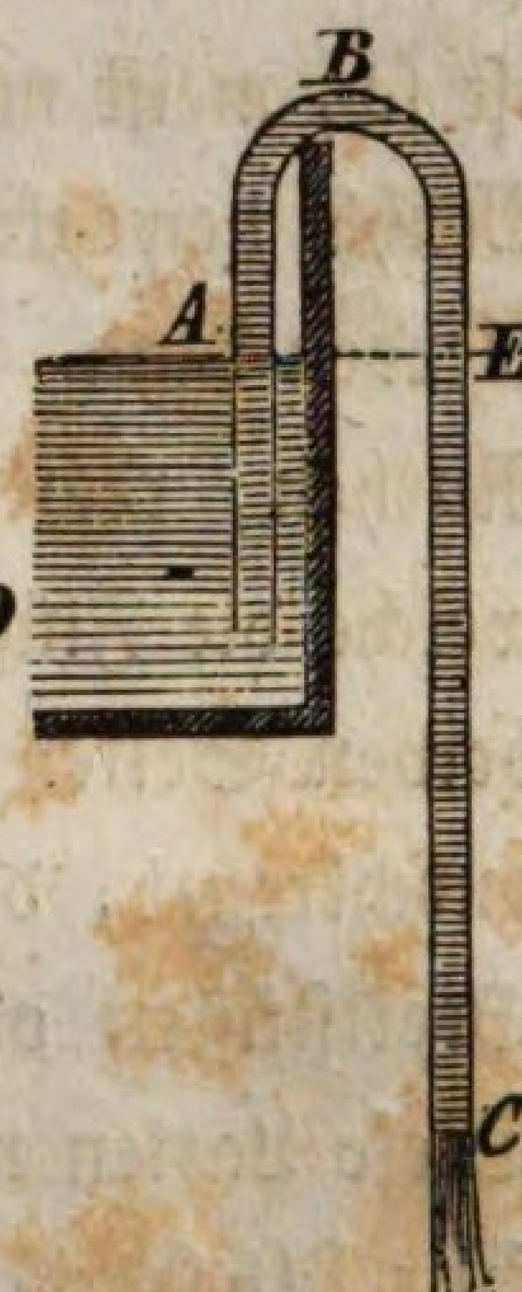
Wir sehen hier wieder eine Bestätigung des Satzes, daß die Maschinen nur dazu dienen, einen Kraftaufwand zweckmäßig zu verwenden, daß sie aber niemals selbst eine mechanische Arbeit liefern, sondern nur den Kraftaufwand in Arbeit verwandeln.

Die Reibung in der Pumpe selbst, wie in der Wassersäulenmaschine, die Steuerung der letzten, der Wasserverlust, verlangen noch einen weitern Aufwand an Kraft, welcher bei der betrachteten Reichenbach'schen Maschine der nützlichen Arbeit ungefähr gleichkommt, bei andern Maschinen diese sogar übersteigt.

133. Die Saug- und Hebpumpe unterscheidet sich von der betrachteten nur dadurch, daß bei ihr das Steigventil in dem Kolben selbst angebracht, und die Steigröhre meistens gerade über dem Stiefel, in dem sich der Kolben bewegt, fortgeht.

Bei der Saug- und Hebepumpe hat der Kolben beim Niedergange nur die Bewegungswiderstände zu überwinden, und beim Aufgange die ganze Wassersäule vom Unterwasser bis zum Ausguß zu heben. Darin liegt ein Vorzug des Saug- und Druckwerkes, wo sich diese Last auf den Auf- und Niedergang vertheilt, und zwar gleich, wenn die Saughöhe und die Druckhöhe gleich groß sind. Für die gesammte Arbeit ist es aber gleichgültig, wo man den Kolben anbringt, wenn dieses nur nicht zu hoch über dem Wasserspiegel ist.

Fig. 64.



134. Der Heber (Fig. 64.) muß zuerst auf irgend eine Weise gefüllt werden, dann läuft das Wasser von dem Behälter D durch den Heber bei C aus. Das Wasser wird aus dem Gefäße D durch den Druck der äußern Luft in den Heber getrieben. Dieser könnte das Wasser 34 Fuß hoch heben; ihm entgegen drückt die Wassersäule AB; es bleibt also noch ein Druck in der Richtung ABC, gleich dem einer Wassersäule, von der Höhe 34 — AB Fuß.

Auf die Ausflußöffnung C drückt ebenso die Atmosphäre, ihr entgegen drückt die Wassersäule BC; es bleibt also noch ein Druck in der Richtung CBA, gleich dem einer Wassersäule von 34 — BC Fuß. Da AB kleiner ist, als BC, so ist der Druck in der Richtung ABC größer, als der in der entgegengesetzten CBA, und zwar um den Druck der Wassersäule EC. Es wird also das Wasser aus dem Behälter D durch den Heber getrieben werden, als drückte auf das Wasser eine Wassersäule von der Höhe EC, und das Wasser wird mit der Geschwindigkeit ausfließen, welche es durch den Fall von der Höhe EC erlangt.

Der Gebrauch des Stechhebers der Küfer beruht ebenso auf dem Drucke der Luft.

Außer den bisher betrachteten Anwendungen der Kraft der

Luft benützt man auch die lebendige Kraft, welche die bewegte Luft hat.

135. Die Luftströmungen, welche wir mit dem Namen Wind bezeichnen, haben bekanntlich sehr verschiedene Geschwindigkeiten. Man mißt diese Geschwindigkeit gewöhnlich dadurch, daß man eine Flaumfeder durch ihn forttreiben läßt, und sieht, wie weit diese in einer bestimmten Zeit kommt. Auf diese Weise hat man gefunden, daß die Geschwindigkeit eines mäßigen Windes 10 bis 15 Fuß beträgt, während die Geschwindigkeit eines Sturmes 60 bis 100 Fuß beträgt.

136. Die Kraft des Windes wird gewöhnlich durch die verticalen Windräder benützt. Diese bestehen in der Regel aus einer Welle, welche etwas gegen den Horizont geneigt ist, da der Wind meistens ebenfalls eine schwache Neigung gegen den Horizont hat. Diese Welle ist so, meist mit dem Dache der Mühle, zuweilen auch mit der ganzen Mühle beweglich, daß sie stets in die Richtung des Windes gebracht werden kann. Durch sie gehen zwei starke, ungefähr 80 Fuß lange Ruthen, rechtwinklich gegen einander und gegen die Welle gestellt, welche die Flügel tragen. Es ist nämlich jede dieser beiden Ruthen auf beiden Seiten der Welle, ungefähr vom 7ten Fuß an, von Latten durchkreuzt, die zwischen 6 und 7 Fuß lang sind, und welche mit Brettstücken oder Segeltuch überspannt, die vier Windflügel geben. Diese Latten machen zunächst an der Welle einen Winkel von ungefähr 30 Grad mit der Ebene der 2 Ruthen; die äußersten aber nur noch einen Winkel von etwa 12 Grad, wodurch die Fläche des Windflügels eine windschiefe wird.

Die Kraft eines solchen Windrades steigt begreiflich mit der Größe der Windflügel und mit der Stärke des Windes. Da aber der letzte ein sehr veränderliches Element ist, so ist auch die Kraft des Windrades bald groß, bald klein, oft wird die Maschine aus Mangel an hinreichend starkem Winde ganz stehen müssen, und bei sehr heftigem Winde wird sie der Gefahr des Zerreißens kaum entgehen. Man wird deßhalb zur Benützung der Kraft des Windes nur dann schreiten, wenn man eine andere Kraft nicht oder nicht wohlfeil genug haben kann, und wenn ein zeitweiser Stillstand der Maschine keinen Nachtheil bringt.

Die Wirkung der Windmühlen mit Flügeln, wie die oben angegebenen, und bei einer Windstärke von 20 bis 22 Fuß, welchen man am liebsten hat, ist ungefähr 9 bis 10 Pferdskräfte.

§. 3. Von der Dampfkraft.

137. Die ersten gründlichen Untersuchungen über die Dampfbildung haben wir von Dalton. Er brachte in ein Barometer eine kleine Menge Wasser, welche in dem Quecksilber der Röhre aufstieg, und in den leeren Raum über dem Quecksilber gelangte. Sobald dieß der Fall war, sank das Quecksilber um eine bestimmte Größe, z. B. um einen Zoll. Dieses Sinken konnte nur von der Bildung von Wasserdämpfen herrühren, welche durch ihre Ausdehnsamkeit von oben nach unten, dem atmosphärischen Drucke entgegen, das Quecksilber herabdrückten. Der atmosphärische Druck hebt das Quecksilber auf 28 Pariser Zoll; jetzt steht das Quecksilber nur noch 27 Zoll, es ersetzt also die Elasticität des Wasserdampfes in dem obern Theile der Röhre den Druck von einem Zoll Quecksilber; diese Elasticität des Wasserdampfes ist also gleich diesem Drucke von einem Zoll Quecksilber oder von $^1/_{28}$ Atmosphäre.

Auf diese Weise konnte also Dalton die Spannkraft des Dampfes messen.

138. Sobald so viel Wasser in der Röhre war, daß nicht alles verdampfte, blieb diese Spannung des Wasserdampfes dieselbe, so lange die Temperatur dieselbe blieb, und man konnte dadurch, daß man den Raum, den der Wasserdampf einnahm, verkleinerte oder vergrößerte, diese Spannung nicht ändern; ebensowenig gelang dieß, wenn man den äußern Druck auf den Wasserdampf vermehrte. Daraus ergab sich der wichtige Satz, daß für eine bestimmte Temperatur bei überschüssigem Wasser sich Wasserdampf bildet, dessen Spannkraft allein von dieser Temperatur abhängt.

Für jede Temperatur, selbst weit unter dem Gefrierpunkte, erhält man auf diese Weise Wasserdampf; die Spannkraft dieses Dampfes

ist aber sehr verschieden, je nach der Temperatur; sie wächst sehr schnell mit dieser, und beträgt z. B.

1/8	Atmosphäre bei	50	Grad.	2	Atmosphären bei	120	Grad.
1/4	„ „	65	„	4	„ „	144	„
1/2	„ „	82	„	8	„ „	179	„
1	„ „	100	„	16	„ „	200	„

Die Temperaturen sind nach der 100theiligen Thermometerscala angegeben; also 100 Grad bezeichnet den sogenannten Siedpunkt.

139. Für Wasser, das in einem offenen Gefäße ist, kann die Temperatur nicht höher gebracht werden, als 100 Grad, was man bekanntlich eben zur Bestimmung dieses Siedepunktes auf den Thermometerscalen benützt. Es drückt dort auf die Wasserfläche die Atmosphäre; die Spannkraft des Wasserdampfes bei 100 Grad ist ebenfalls eine Atmosphäre; es wird also der Wasserdampf gerade vermögend seyn, die atmosphärische Luft zu verdrängen, und dieß wird er thun, sowie er sich bildet. Wird das Wasser fortwährend erhitzt, so wird die zuströmende Wärme jetzt vollständig zur Bildung von Wasserdampf verwendet, und das Wasser wird nicht mehr heißer; die Dampfbildung geschieht dabei überall dort, wo die Wärme zuströmt, das Wasser siedet.

Befindet sich das Wasser in einem geschlossenen Gefäße, aus welchem der Dampf entweder gar nicht, oder nur langsam abfließen kann, so wird jetzt die Spannung des Dampfes bald eine viel höhere, als die einer Atmosphäre; allein bei 100 Grad bildet sich nur Dampf von einer Atmosphäre Spannung; es wird also die zuströmende Wärme jetzt zuerst dazu verwendet, daß das Wasser wärmer wird, und erst wenn die Temperatur des Wassers so hoch gestiegen ist, daß die Spannkraft des Dampfes dem Drucke auf das Wasser gleich ist, steigt die Temperatur des Wassers nicht mehr weiter; die zuströmende Wärme des Wassers wird wieder vollständig zur Dampfbildung verwendet, und das Wasser siedet wieder, aber jetzt mit einer höheren Temperatur, als mit freier Oberfläche, z. B. wenn der Druck auf das Wasser 4 Atmosphären beträgt bei der Temperatur von 144 Grad.

140. Ein bestimmter Raum kann bei einer gegebenen Temperatur

nur eine gewisse Menge Dampf aufnehmen, dann ist er, wie man sich ausdrückt, gesättigt mit Dampf. Würde in denselben Raum noch mehr Dampf kommen, so müßte nothwendig die Kraft, mit der sich der Dampf auszudehnen sucht, sich steigern, was ohne Steigerung der Temperatur nicht möglich ist. Die Dampfmenge, welche zur Sättigung eines bestimmten Raumes erforderlich ist, wächst sehr schnell mit der Temperatur des Dampfes, wie folgende, der Erfahrung entnommene Zahlen angeben. Es füllt nämlich 1 Pfd. Wasserdampf bis zur Sättigung

bei	50	Grad	Temperatur,	$^1/_8$	Atmosphäre	Spannung,	289	Kubikfuß.
„	65	„	„	$^1/_4$	„	„	112	„
„	82	„	„	$^1/_2$	„	„	58	„
„	100	„	„	1	„	„	30	„
„	120	„	„	2	„	„	17	„
„	144	„	„	4	„	„	9	„
„	208	„	„	8	„	„	5	„

141. Wird Dampf, wie wir ihn bisher betrachteten, vom Wasser abgeschlossen, und ihm nun ein größerer Raum dargeboten, so dehnt er sich in diesen aus, und zwar wenn die nöthige Wärme von außen zuströmen kann, mit Beibehaltung seiner Temperatur, und dann gilt auch für ihn das Mariotte'sche Gesetz (Nro. 127.), wie wir es für die atmosphärische Luft kennen gelernt haben, d. h. seine Spannkraft nimmt in dem Maaße ab, als der Raum sich vergrößert, den er einnimmt. Dieser Dampf läßt sich dann auch wieder mit Beibehaltung der Temperatur zusammendrücken, bis seine Spannkraft, welche hierbei wächst, die größste geworden ist, welche zu dieser Temperatur gehört. Bei noch weiterem Zusammendrücken verdichtet sich ein Theil des Dampfes zu Wasser, und der übrige behält seine Spannkraft unverändert.

Nehmen wir nun wieder z. B. ein Pfd. Dampf, das bei 144 Grad unter dem Drucke von 4 Atmosphären einen Raum von 9 Kubikfuß einnimmt. Wird diesem Dampfe ein größerer Raum dargeboten, ohne daß Wärme zutreten kann, so wird auch jetzt noch der ganze Raum von diesem Dampfe erfüllt werden, aber die Spannkraft wird

jetzt schneller, als nach dem Mariotte'schen Gesetze, abnehmen, und zugleich wird die Temperatur so sinken, daß der Raum für diese Temperatur gerade noch gesättigt ist. Ist dieser Raum z. B. 58 K.-F., so wird die Temperatur 82 Grad, und die Spannkraft auf $1/2$ Atmosphäre sinken. Der Raum des Dampfes ist etwas über 6mal größer geworden, und die Spannkraft ist auf den 8ten Theil der früheren herabgesunken.

142. Es ist oben schon der bekannten Erfahrung erwähnt, daß siedendes Wasser, solange der Druck auf dasselbe sich nicht ändert, seine Temperatur nicht ändere, nicht wärmer werde, wenn man auch noch so sehr das Feuer unter demselben anfache. Das letzte hat nur die Folge, daß in derselben Zeit sich mehr Dampf bildet, aber nicht daß dieser oder das Wasser heißer werde, sobald nur das Sieden in der That eingetreten ist. Es geht also hier Wärme für das äußere Gefühl, für das Thermometer verloren, sie wird zur Dampfbildung verwendet, und heißt die latente (verborgene) Wärme des Dampfes.

Nach Beobachtungen, die von Mehreren angestellt wurden, scheint es, daß die Wärme des Dampfes, sobald dieser die größte Spannkraft erreicht hat, immer dieselbe sey, und daß man also gerade so viel Wärme brauche, um 1 Pfd. Wasserdampf von 50 Grad Temperatur und $1/8$ Atmosphäre Spannung zu erzeugen, als zur Bildung von 1 Pfd. Wasserdampf von 200 Grad Temperatur und 16 Atmosphären Spannung erforderlich ist. Was hier die höhere Temperatur an Wärme mehr verlangt, wird dort auf die viel bedeutendere Ausdehnung des Wasserdampfes verwendet.

Die Wärmemenge, welche erfordert wird, um ein Pfund Wasser von 0 Grad in gesättigten Dampf zu verwandeln, beträgt 650; d. h. mit ihr könnten 650 Pfd. Wasser um einen Grad erwärmt werden.

143. Strömt dieser Dampf in Wasser, so verdichtet er sich zu Wasser, und gibt dabei seine Wärme an dieses Wasser wieder ab, was bekanntlich in vielen Fällen zum Erhitzen von Wasser in Badeanstalten, Färbereien, chemischen Fabriken angewendet wird.

Tritt ein Pfd. Wasser z. B. zu 99 Pfd. Wasser von 10 Grad, so

wird man nachher 100 Pfd. Wasser mit der Temperatur 16,4 Grad finden. Es sind nämlich 99 Pfd. Wasser um 6,4 Grad erwärmt worden, wozu die Wärmemenge 99 × 6,4 = ... 633,6
gehört. Diese wurde erhalten dadurch, daß 1 Pfd. Wasserdampf sich zu Wasser verdichtete, und bis zu 16,4 Grad abkühlte. Dieses Pfd. Wasser hat also noch die Wärmemenge 16,4

beides zusammen 650,0
welches die von dem Pfunde Dampf zugebrachte Wärmemenge ist.

Nach diesen Betrachtungen der physikalischen Eigenschaften des Dampfes können wir nun sehen, wie man den Dampf als bewegende Kraft gebraucht.

144. Die einfachste Weise, den Dampf als bewegende Kraft anzuwenden, ist die in den Hochdruckmaschinen, d. h. in den Maschinen, welche Dampf von 3, 4 und noch mehr Atmosphären Spannung verbrauchen. Die Figuren 65. und 66. stellen eine solche Hochdruckmaschine vor, wie sie bei den Locomotiven vorkommt.

Fig. 65.

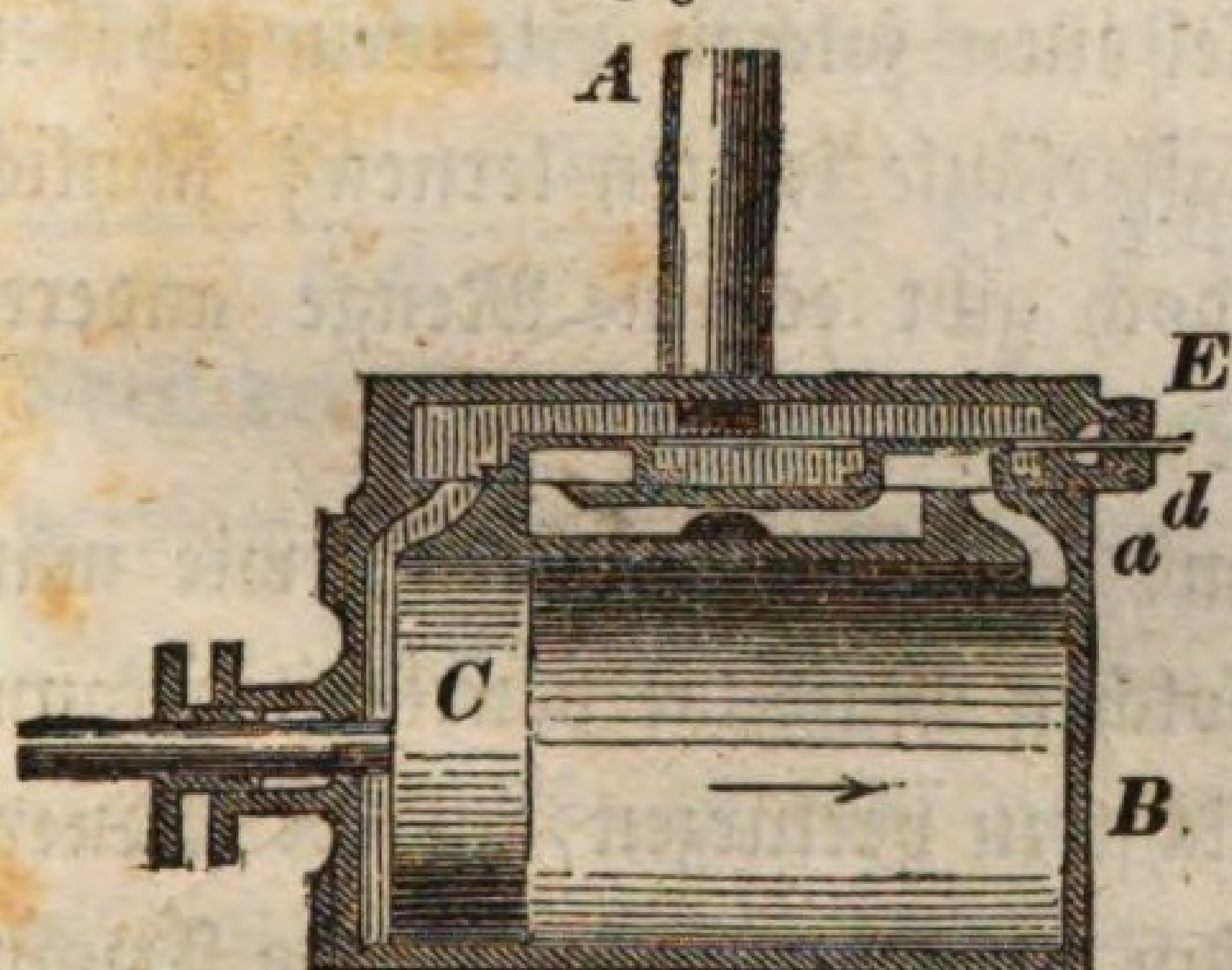
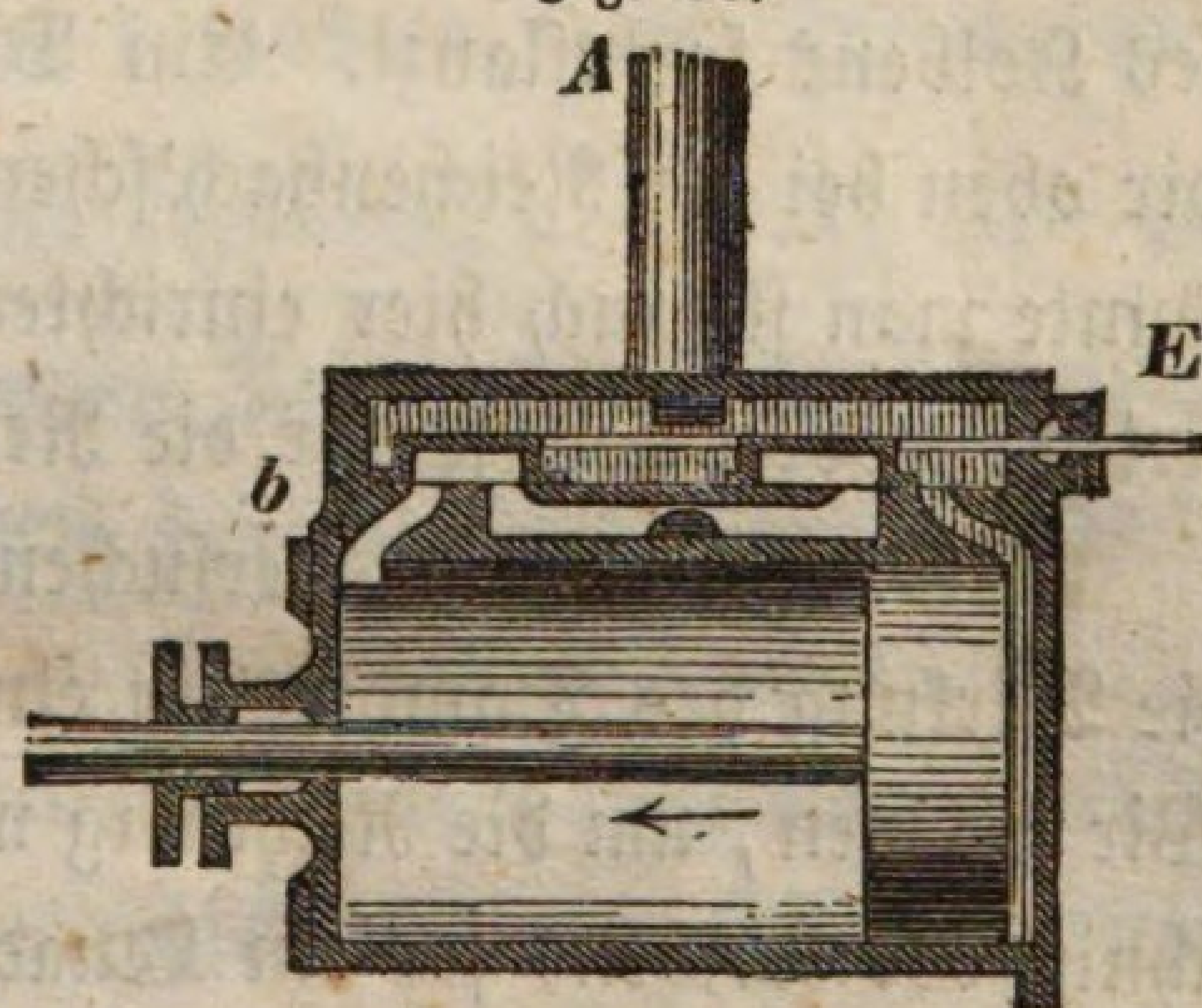


Fig. 66.



Der Dampf, der in einem ganz geschlossenen Kessel, von welchem noch weiter unten die Rede seyn wird, erzeugt wird, tritt durch die Röhre A auf dem Wege, den die Pfeile anzeigen, in den Cylinder B, und drückt den Kolben C vorwärts, bis dieser an's vordere Ende des Cylinders gelangt. Die Luft im Anfange der Bewegung, bei späteren Gängen der Dampf vor dem Kolben, wird durch die Oeffnung a, wie die Pfeile zeigen, zu der Oeffnung b gebracht, durch welche er in das Freie, bei den Locomotiven zunächst in den Schornstein tritt. Sobald der Kolben seinen Lauf beinahe beendigt hat, wird der Schieber E

aus der Lage der Fig. 65. in die der Fig. 66. gebracht, und jetzt tritt, wie man sieht, der Dampf aus dem Kessel vor den Kolben C, drückt diesen rückwärts, und der Dampf, welcher noch den Raum hinter dem Kolben erfüllt, tritt durch die Oeffnung d zu b ins Freie, oder durch die sogenannte Blaseröhre in den Schornstein. Man sieht zugleich, daß immerwährend der Schieber E durch die Kraft des zuströmenden Dampfes gegen den Cylinder festgedrückt wird; der austretende Dampf, welcher sucht, den Schieber vom Cylinder wegzudrücken, vermag dieß nicht gegen jenen.

Die Bewegung des Kolbens wird durch die Kolbenstange F zu dem Cylinder hinaus geführt, wo die erhaltene Bewegung auf irgend eine Weise verwendet werden kann. Bei den Locomotiven wird die erhaltene Kraft durch eine Kurbel auf die mittleren größeren Räder, die Treibräder, übergetragen.

Die Steuerung, d. h. die richtige Bewegung des Schiebers E geschieht jetzt immer durch die Maschine selbst; wie dieß aber bewerkstelligt wird, hängt sehr von der besondern Art ab, wie man die Bewegung des Kolbens fortpflanzt. Ein Beispiel einer solchen Steuerung haben wir oben bei der Reichenbach'schen Wassersäule kennen lernen; ähnlich könnte man sie auch hier einrichten; doch gibt es eine Menge anderer Arten, wovon noch später die Rede seyn wird.

145. Wir wollen versuchen, uns deutlich zu machen, wie man die Wirkung des Dampfes in einer solchen Maschine beurtheilen kann. Wir nehmen, um die Rechnung möglichst zu verkürzen, an, der Querschnitt des Kolbens sey ein Quadratfuß, und der einströmende Dampf habe 5 Atmosphären Pressung. Dem Drucke des Dampfes, welcher den Kolben vorwärts treibt, steht auf der andern Seite, wenn dort der Dampf durch eine hinreichend weite Oeffnung schnell ins Freie treten kann, der Druck der Luft, eine Atmosphäre, entgegen. Die bewegende Kraft ist also 4 Atmosphären, oder auf einen Quadratfuß $4 \times 1860 = 7440$ Pfd. (vergl. Nro. 126.).

Beim vollen Laufe der Locomotive hat der Kolben eine Geschwindigkeit von ungefähr 5 Fuß; die Arbeit des Dampfes in dieser Zeit ist daher $7440 \times 5 = 37200$ Fußpfunde, oder $^{37200}/_{500} = 72$

Pferdskräfte. Die Kolben der gewöhnlichen Maschinen bei Locomotiven haben nur etwa $^3/_4$ Quadratfuß; die Kraft dieser Maschinen ist also auch nur $^3/_4$ dieser Kraft, oder 54 Pferdskräfte, wovon man auf die Nebenlasten und Dampfverlust noch die Hälfte abrechnen kann, so daß die Kraft beider Maschinen zusammen etwa 54 Pferdskräfte beträgt; es hat nämlich jede Locomotive zwei solcher Dampfcylinder.

146. Soll der Kolben mit 5 Fuß Geschwindigkeit fortgehen, so durchläuft er in einer Secunde einen Raum von 5 Kubikfuß (bei einem Quadratfuß Querschnitt); und dieser Raum muß in einer Secunde mit Dampf von 5 Atmosphären Spannung erfüllt werden. Ein Kubikfuß Dampf von 5 Atmosphären Spannung wiegt aber 0,133 Pfd., also 5 Kubikfuß $5 \times 0,133 = 0,665$ Pfd., und für beide Cylinder zusammen mit $1^1/_2$ Quadratfuß Querschnitt, bedarf man $1^1/_2 \times 0,665 = 0,997$, oder beinahe 1 Pfd. Dampf in einer Secunde.

Der Dampfkessel muß also groß genug seyn, um in jeder Secunde ein Pfd. Wasser zu verdampfen. Ein Pfd. Wasserdampf enthält 650 Wärmeeinheiten; mit einer Wärmeeinheit wird also hier, alle Nebenlasten und den Dampfverlust nicht betrachtet, eine Arbeit, gleich $\frac{2 \times 54 \times 500}{650} = 83$ Fußpfund erhalten, d. i. etwa der 14te Theil der Arbeit, welche die verwendete Wärme überhaupt zu leisten vermag; die nutzbar gewordene Arbeit beträgt sogar hiervon nur den 28sten Theil.

147. Es ist aber auch leicht zu sehen, wie man noch einen beträchtlichen Theil der Wärmekraft mehr benützen kann. Läßt man nämlich, wie oben, Dampf von 5 Atmosphären in den Cylinder einströmen, z. B. $^1/_8$ Pfd., welcher den Raum von ca. 1 Kubikfuß einnimmt, schließt dann den Kanal, durch welchen der Dampf eintritt, so wird nun jenes $^1/_8$ Pfd. Dampf fortfahren, den Kolben fortzudrücken, und sich dabei auszudehnen und zugleich zu erkälten. Der Druck auf den Kolben wird nun zwar immer schwächer, aber er wird doch immer noch größer seyn, als der Gegendruck, welcher eine Atmosphäre beträgt, bis er endlich selbst diese Größe erreicht. Jetzt, oder gewöhnlich schon etwas früher, läßt man die Steuerung arbeiten, welches sich nun so

stellen muß, daß der Dampf, welcher eben gewirkt hat, in das Freie ausströmen kann, während auf der andern Seite des Kolbens Dampf in den Cylinder einströmt.

Maschinen, bei welchen der Dampf auf diese Weise nur während einiger Zeit des Kolbenlaufes einströmt, und in der andern Zeit durch Ausdehnung wirkt, nennt man Expansionsmaschinen, Maschinen mit Absperrung.

148. Wir haben oben angenommen, es trete $\frac{1}{8}$ Pfd. Dampf in den Kolben, welchem wir einen Querschnitt von 1 Quadratfuß der kürzeren Rechnung wegen geben wollen. Dann wird jenes $\frac{1}{8}$ Pfd. Dampf, das bei 5 Atmosphären Spannung 1 Kubikfuß Raum einnimmt, den Kolben einen Fuß weit forttreiben; die geleistete Arbeit wird, mit Berücksichtigung des Gegendrucks von einer Atmosphäre, gleich $4 \times 1860 = 7440$ Fußpfund seyn.

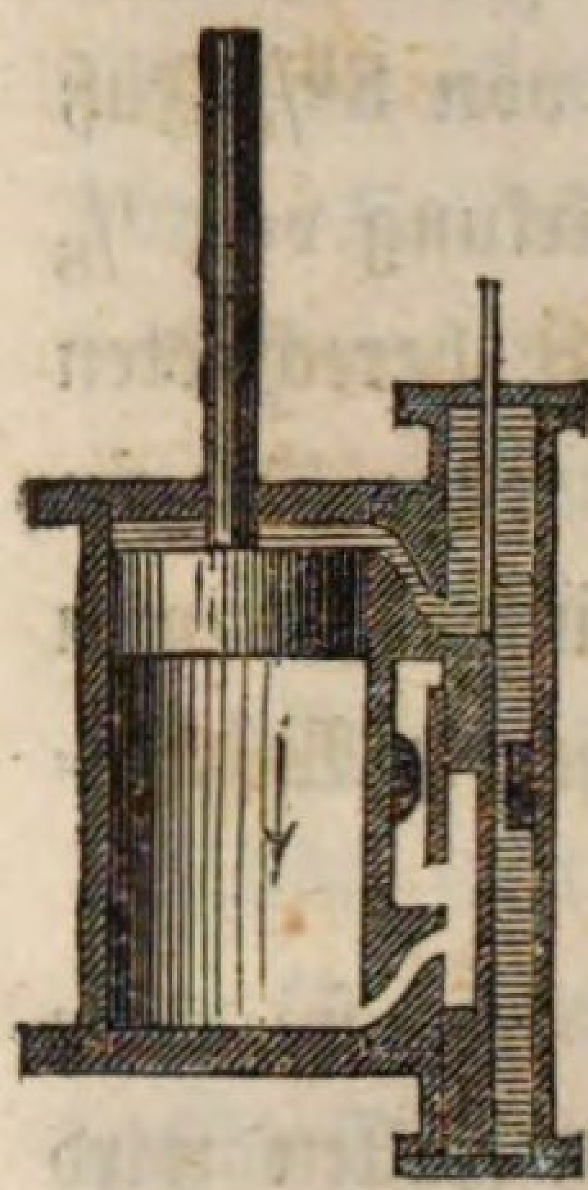
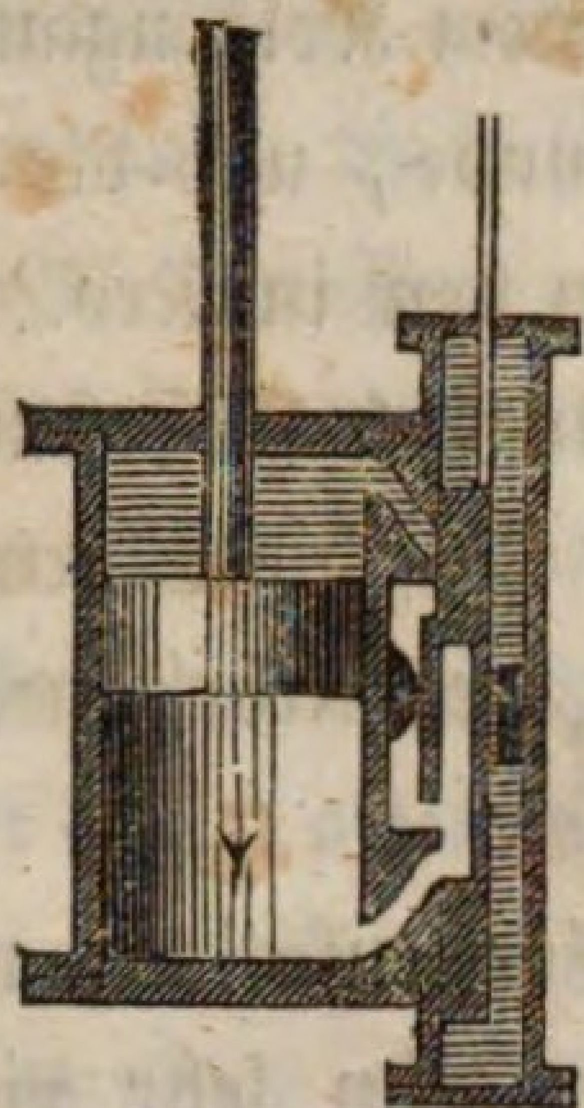
Dehnt sich nun dieser Dampf ohne Zutritt oder Abgabe von Wärme aus, bis er noch eine Atmosphäre Spannung hat, wobei seine Temperatur auf 100 Grad herabsinkt, so nimmt er hierbei den Raum $\frac{1}{8} \times 30 = 3\frac{3}{4}$ Kubikfuß ein (vergl. Nro. 140.). Er dehnt sich also um $2\frac{3}{4}$ K.-F. aus, oder schiebt den Kolben während der Ausdehnung noch um $2\frac{3}{4}$ Fuß weit vorwärts.

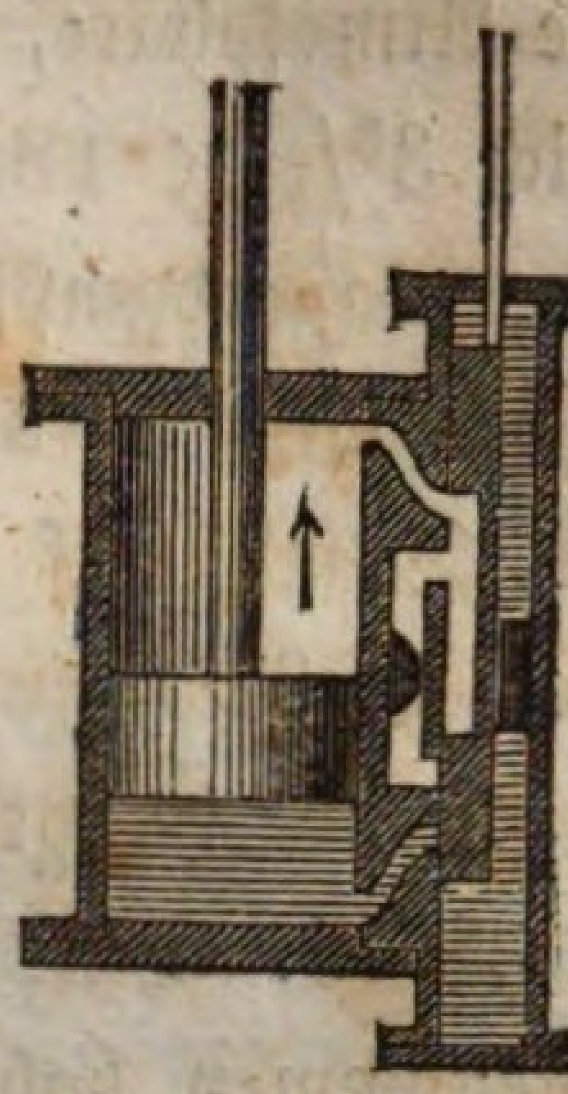
Die Kraft, mit der dieß geschieht, sinkt dabei von (nachdem der Gegendruck einer Atmosphäre immer abgezogen ist,) 4 Atmosphären auf Null herunter. Es ist eben nicht schwierig, den mittleren Druck zu berechnen, doch würde uns das hier zu weit führen. Man sieht leicht ein, daß er ungefähr 2 Atmosphären seyn müsse. Nimmt man dieß an, so ist die Arbeit des Dampfes während der Ausdehnung $2 \times 1860 \times 2\frac{3}{4} = 10230$ Fußpfund.

Die Arbeit, welche man bei dieser Maschine von $\frac{1}{8}$ Pfd. Dampf erhält, ist daher im Ganzen $7440 + 10230 = 17670$ Fußpfd., und für ein Pfd. Dampf 141360 Fußpfd., wovon auf eine Wärmeeinheit der 650ste Theil oder 217 Fußpfd. kommen, während unter gleichen Umständen ohne Expansion nur 83 Fußpfd. mit derselben Wärmemenge erhalten werden.

149. Die Fig. 67 bis 70. zeigen, wie etwa eine solche Absperrung für eine Hochdruckmaschine eingerichtet werden kann. Sie geben

Fig. 67. Fig 68. Fig. 69. Fig. 70.



den Schieber in den vier Lagen, welche er der Reihe nach annimmt, woraus man leicht sieht, wie zuerst der Dampf über den Kolben tritt, wie dann dem Dampf aller Zugang vom Kolben verwehrt ist; in diesen beiden Fällen strömt der Dampf unter dem Kolben ungehindert ins Freie. In der Fig. 69. endlich tritt der Dampf unter den Kolben, und der expandirte Dampf über dem Kolben tritt nun ungehindert aus der Maschine. Dadurch, daß beim Rückgange des Schiebers zuerst wieder ein kleiner Schritt und dann ein größerer bewirkt wird, ergibt sich auch hier wieder zuerst Einströmen des Dampfes, dann Absperrung mit Expansion, und während beider Perioden freies Ausströmen des Dampfes oberhalb des Kolbens.

150. Man kann die Oeconomie des Dampfes noch weiter treiben. Dadurch, daß man den Dampf ins Freie ausströmen läßt, muß dieser wenigstens noch eine Atmosphäre Spannung haben, und drückt mit dieser Kraft, der Bewegung entgegen, auf den Kolben. Da nun, wo man in hinreichender Menge kaltes Wasser hat, wie häufig bei feststehenden Maschinen und immer bei den Maschinen der Dampfschiffe, läßt man den Dampf in dieses kalte Wasser strömen, wo er schnell zu Wasser verdichtet wird, und also nicht mehr auf den Kolben drückt. Solche Maschinen nennt man Condensationsmaschinen.

Würde bei der Expansionsmaschine, welche wir in Nro. 148. betrachteten, der Dampf hinter dem Kolben vollständig condensirt, so daß dort gar kein Druck mehr auf den Kolben statt fände, so würde die Kraft der Maschine um die Arbeit sich vermehren, welche zur Ueber-

windung dieses Gegendrucks nothwendig war. Dieser Gegendruck war eine Atmosphäre, die Arbeit also bei einem Kolbengange von $3^3/_4$ Fuß gleich $3^3/_4 \times 1860 = 6975$ Fußpfunde, und die Wirkung von $^1/_8$ Pfd. Wasserdampf erhöht sich nun von den in Nro. 148. berechneten 17670 auf $17670 + 6975 = 24645$ Fußpfund, oder für ein Pfd. Dampf auf 197160 Fußpfund. Auf die Wärmeeinheit kommen also jetzt 303 Fußpfund, d. i. etwa $^1/_4$ der Arbeit, welche die Wärmeeinheit überhaupt zu leisten vermag.

151. Eine solche vollständige Condensation, wie wir sie oben angenommen haben, kommt nicht vor. In sehr vielen Fällen wird man nicht viel mehr Wasser zur Condensation beischaffen können, als nothwendig ist, um das durch den condensirten Dampf erhitzte Wasser auf 50 Grad zu erhalten. Dann wird über diesem Wasser sich auch noch Dampf von 50 Grad erhalten, welcher nach Nro. 138. noch $^1/_8$ Atmosphäre Spannung hat, und mit dieser also noch der Bewegung des Kolbens entgegenwirkt.

Wir wollen sehen, wie viel Wasser man haben muß, um die Condensation bei 50 Grad vornehmen zu können.

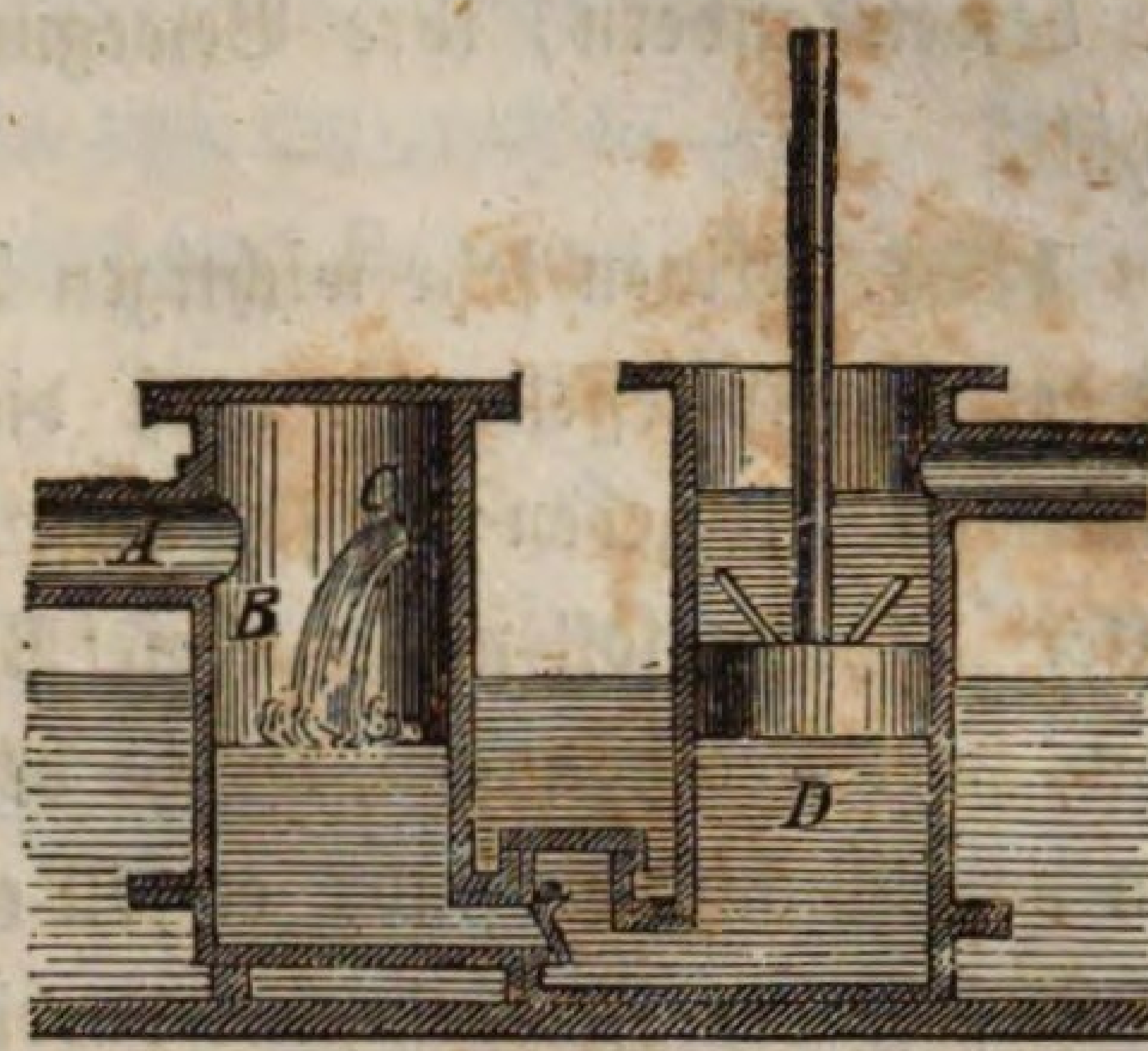
Soll ein Pfund Dampf in Wasser von 50 Grad verwandelt werden, so müssen ihm $650 - 50 = 600$ Wärmeeinheiten entzogen werden. Hat das Wasser, welches zur Condensation verwendet werden soll, die Temperatur 10 Grad, so wird dieses Wasser um 40 Grad, bis zu 50 Grad erwärmt. Zu dieser Erwärmung bedarf man für 1 Pfd. Wasser 40 Wärmeeinheiten, und obige 600 erwärmen also $^{600}/_{40} = 15$ Pfd. Wasser, oder man braucht zur Condensation von einem Pfd. Dampf 15 Pfd. oder zwischen $^1/_3$ und $^1/_4$ K.-Fuß Wasser.

152. Bei den Condensationsmaschinen wendet man häufig Dampf von nur $1^1/_4$ bis $1^1/_2$ Atmosphären Spannung an. Diese heißen dann Niederdruckmaschinen, und sollen weniger gefährlich seyn, als die Hochdruckmaschinen. Die letztern benützen aber, wenn sie richtig construirt, und mit Expansion und Condensation versehen sind, die Kraft der Wärme besser, als die ersten, haben auch viel kleinere Dimensionen, und sind deßhalb wohlfeiler.

Die Fig. 71. zeigt, wie James Watt, welchem hauptsächlich die

Dampfmaschine eine sorgfältige Construction aller ihrer Theile, und dadurch die allgemeinere Benützung derselben verdankt, die Condensation bei seinen Maschinen anbrachte.

Fig. 71.



Die Röhre A führt den Dampf, welcher aus dem Cylinder der Dampfmaschine tritt, in den Condensator B, welcher nach allen Seiten geschlossen, und in einer mit kaltem Wasser immerwährend gefüllt erhaltenen Kufe steht. Aus diesem Wasserbehälter führt eine Röhre zu der Oeffnung C, und die äußere Luft drückt durch diese Röhre und die Oeffnung C das kalte Wasser in den Condensator, wo der Dampf rasch verdichtet wird, so daß, wie wir oben sahen, nur noch wenig Dampf von geringer Spannung übrig bleibt. Auf diese Weise würde sich der Condensator sehr bald mit durch den verdichteten Dampf erhitztem Wasser anfüllen, wo dann die Condensation ein Ende hätte. Um dieß zu verhüten, wird das heiße Wasser aus ihm durch die nebenstehende Saug- und Hebepumpe D, welche durch die Dampfmaschine selbst bewegt wird, fortdauernd weggeschafft, und läuft theils ins Freie, theils wird durch eine weitere Pumpe, die sogenannte Speisepumpe oder auch Heißwasserpumpe, dieses Wasser zum Ersatz des verdampften in den Dampfkessel zurückgepumpt.

Alles Wasser, wie wir es aus Quellen und Brunnen erhalten, enthält ziemlich viel Luft verschluckt. Diese Luft gibt das Wasser ab, wenn es erhitzt wird; im Condensator sammelt sich daher immer auch sehr viel Luft, welche mit dem Wasser durch die Pumpe D aus dem Condensator entfernt wird. Man nennt deßhalb die Pumpe D gewöhnlich die Luftpumpe dieser Maschinen. Die Kufe, in welcher der Condensator und diese Luftpumpe steht, muß beständig mit kaltem Wasser gefüllt werden. Dieß strömt entweder durch seinen natürlichen Fall zu, oder es muß von einem tiefer liegenden Puncte in die Kufe gehoben werden. Im letzten Falle sieht man an den Watt'schen Maschinen noch eine

dritte Pumpe, die Kaltwasserpumpe, angebracht, welche, wie die beiden andern, ihre Bewegung durch die Dampfmaschine selbst erhält.

153. Einen sehr wichtigen Theil bei allen Dampfmaschinen bildet der Dampfkessel. Er muß die erforderliche Dampfmenge in der gehörigen Zeit geben; er soll dieß mit möglichster Ersparniß an Brennmaterial thun; soll nicht zu viel Raum einnehmen, und nicht zu schwer seyn, zwei Bedingungen, welche besonders bei den beweglichen Maschinen von Wichtigkeit sind; er soll endlich die gehörige Sicherheit gegen die Gefahr des Zerspringens darbieten.

Wie die erforderliche Dampfmenge sich aus der Kraft bestimmt, welche die Maschine haben soll, haben wir oben gesehen. Darnach ergibt sich die Heizfläche des Kessels, d. h. die Kesselfläche, welche zwischen den Zügen des Feuers und dem Wasser liegt, nach einer durch die Erfahrung erprobten Regel gleich 10 Quadratfuß für jedes Pfd. Dampf, das in einer Minute erzeugt werden soll.

Diese Regel gibt die größte Kesselfläche, welche man dort, wo eine besondere Oekonomie des Brennmaterials geboten ist, und wo ein sehr großes Gewicht des Kessels kein Hinderniß ist, anwendet. Verstärkt man das Feuer unter einem solchen Kessel, so wird begreiflich die Verdampfung schneller vor sich gehen, und man kann mit derselben Heizfläche das Zwei- und Dreifache der oben angegebenen Dampfmenge erhalten, aber es wird sich auch die verbrannte Luft unter dem Kessel nicht mehr soweit abkühlen, wie früher, sie wird mehr Wärme dem Schornsteine zuführen, und die erzeugte Wärme oder das verbrannte Brennmaterial wird weniger vollständig benutzt werden, als dort, wo bei derselben Heizfläche und minder starker Feuerung der Dampf langsamer erzeugt wird.

Bei Locomotiven rechnet man etwas mehr als 2 Pfd. Dampf in der Minute auf 10 Quadratfuß Heizfläche; hier läßt man, um einen leichteren Kessel zu erhalten, lieber etwas von der Heizkraft des Brennmaterials verloren gehen.

154. Die Formen, welche man den Dampfkesseln gibt, sind sehr mannigfaltig. Gewöhnliche Formen sind die von nahe viereckigem

Querschnitte; unter dem Kessel liegt der Rost, auf welchem das Brennmaterial brennt, und von wo die Flamme zuerst unter dem Kessel hin, dann an den Seiten um ihn herum in den Schornstein zieht. Diese Kessel hat Watt gebraucht, und auch jetzt noch sieht man sie häufig bei Niederdruckmaschinen.

Noch verbreiteter, als diese Form, ist die cylindrische mit 2 oder 3 Kochröhren. Die letzten gehen unter dem Kessel seiner ganzen Länge nach hin, und sind mit ihm durch kurze, aufwärts gehende Röhren verbunden. Man erhält hierdurch bei gleichem Inhalte des Kessels eine größere Heizfläche, auch widerstehen die dünneren Röhren dem Drucke des Dampfes besser, als der weite Wagenkessel, wie er von Watt gebraucht wurde.

Bei den Kesseln der Dampfschiffe und der Locomotiven liegt der Feuerungsraum im Kessel selbst, was theils zur Umgehung der Feuersgefahr, theils der Ersparung an Raum wegen geschieht. Bei beiden zieht die Flamme in Röhren durch den Kessel selbst. Bei den Locomotiven hat man die Zahl dieser Röhren sehr vervielfältigt, bis 100, und dadurch eine große Heizfläche bei einem verhältnißmäßig nicht sehr großen Gewichte des gefüllten Kessels erhalten.

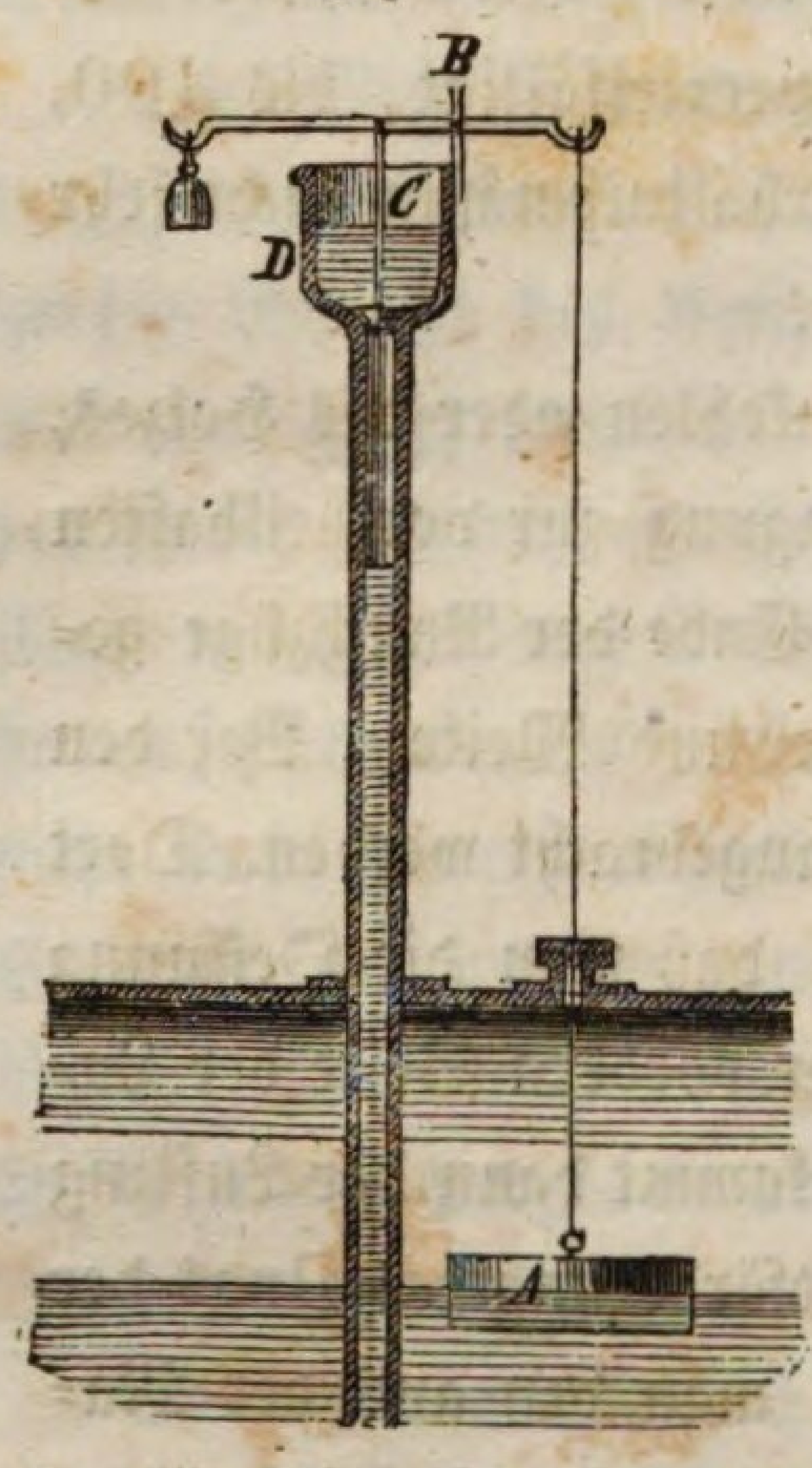
155. Das lebhafte Brennen der Steinkohlen oder des Holzes, oder endlich der Coaks, eine wesentliche Bedingung zur vortheilhaften Benützung, bewirkt man durch einen, an das Ende der Rauchzüge gestellten Schornstein, Esse von gehöriger Höhe und Weite. Bei den Locomotiven kann ein hoher Schornstein nicht angebracht werden. Dort bewirkt man das Verbrennen theils dadurch, daß man die Oeffnung zum Eintritt der Luft unter den Rost nach der vordern Seite der Locomotive richtet. Beim Laufe der Locomotive kommt dann der Luftzug in diese Oeffnung. Dann wendet man zur Beförderung des Zugs der Luft durch den Rost noch das Mittel an, daß man den aus der Maschine tretenden Dampf durch eine nicht zu weite Röhre, die Blaseröhre, in den Schornstein, und durch diesen ins Freie treten läßt. Weil die Blaseröhre ziemlich enge ist, treibt der Kolben den verbrauchten Dampf mit großer Schnelligkeit durch die Blaseröhre und den Schornstein, und dieser Dampf reißt die Luft aus den Zügen vom Feuerraume her

mit sich fort. Freilich findet hierbei auch ein Gegendruck auf den Kolben statt, welcher den Effect der Maschine etwas vermindert.

156. Jeder Dampfkessel muß mit einer Vorrichtung zum Speisen mit Wasser versehen seyn. Bei Maschinen mit niederem Drucke (1¼ Atmosphäre Spannkraft des Dampfes ungefähr) kann man etwa das Wasser aus einem hoch gelegenen Behälter zufließen lassen; bei allen andern Maschinen aber geschieht die Speisung des Dampfkessels durch eine besondere Pumpe, welche von der Maschine selbst bewegt wird. Bei diesen kann der Kolbenhub so geregelt werden, daß immer nur soviel Wasser in den Kessel tritt, als Dampf in die Maschine getreten ist, wie dieß z. B. bei den Locomotiven geschieht.

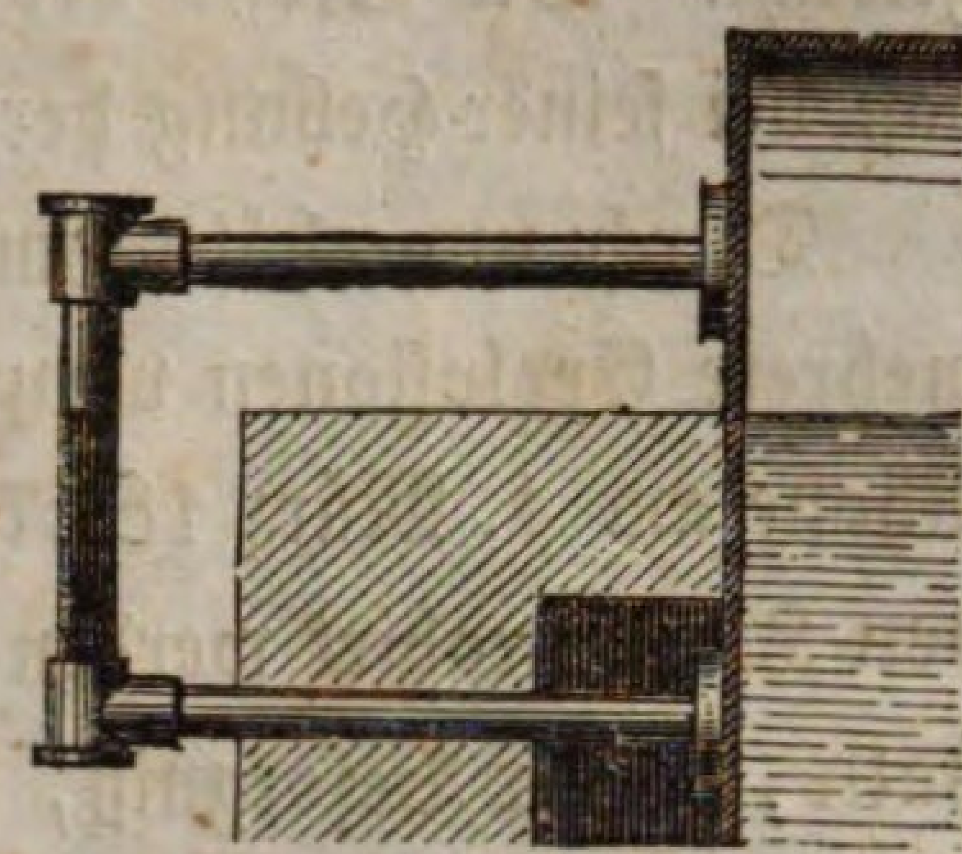
Wo das Wasser aus einem höher liegenden Behälter in den Dampfkessel fällt, regulirt man den Zufluß des Wassers durch einen Schwimmer, welchen man in das Wasser im Dampfkessel legt, und welcher sich hebt, wenn dieses steigt, sich aber mit diesem senkt. Die Fig. 72. zeigt eine solche Speiseröhre. Der Schwimmer A hängt an einem Drahte, welcher durch eine Stopfbüchse aus dem Kessel tritt. An seinem oberen Ende ist dieser Drath an einem Hebel befestigt, welcher an seinem andern Ende ein Gegengewicht trägt. Sinkt der Wasserspiegel in dem Kessel, so sinkt damit zugleich der Schwimmer, dreht den Hebel um seinen Drehpunct B, und hebt damit das Ventil, das an dem Stängchen C befestigt ist. Aus dem Behälter D fließt nun das Wasser in den Kessel, bis durch Steigen des Schwimmers das Stängchen C das darin befindliche Ventil wieder herabdrückt, und damit die Verbindung zwischen dem obern Behälter und dem innern des Kessels aufhebt.

Fig. 72.



Um zu sehen, ob die Speisevorrichtung ihre Dienste gehörig thut, ist an dem Dampfkessel eine Röhre angebracht, in welcher man den Stand des Wassers im Kessel zu jeder Zeit sehen kann.

Fig. 73.

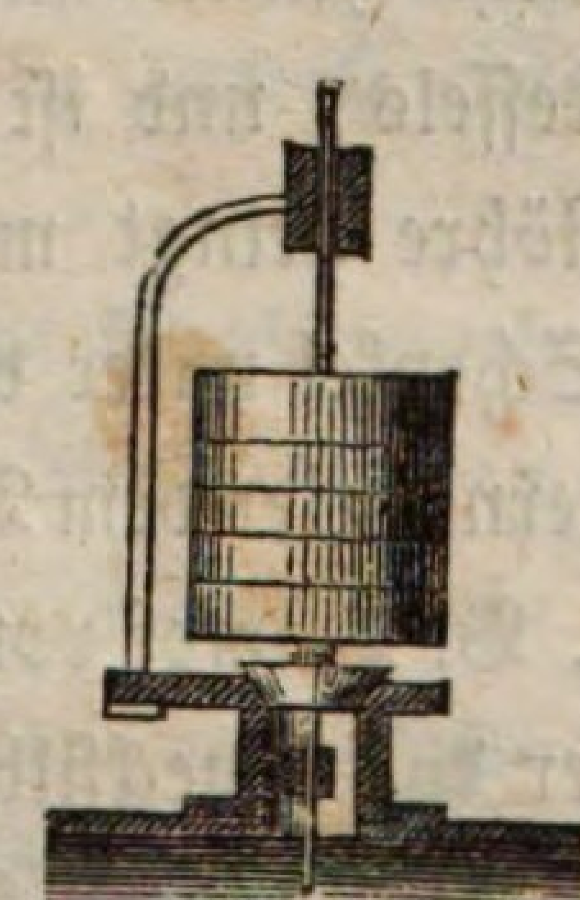


A ist eine Glasröhre, in welcher das Wasser immer so hoch steht, wie im Kessel. Man hat auch noch Schwimmer, welche den Stand des Wassers anzeigen, und andere Vorrichtungen.

157. Die wichtigste Bedingung, welche ein Dampfkessel erfüllen muß, ist die der Sicherheit gegen jene schrecklichen Explosionen, welche zwar selten, aber eben dennoch vorkamen. Sehen wir nach den Ursachen dieser Explosionen und den Mitteln, ihnen vorzubeugen.

Jeder Dampfkessel kann vermöge der Dicke seiner Wände nur eine gewisse Spannkraft der Dämpfe ertragen; eine größere Spannung hat das Zerreißen des Kessels zur Folge. Es ist deßhalb von den Regierungen festgesetzt, wie stark die Wände eines Dampfkessels seyn müssen, wenn die Maschine mit einem Drucke von so und so viel Atmosphären arbeiten soll, und dann müssen die Kessel vor dem Gebrauche noch einem Drucke ausgesetzt werden, welcher den überschreitet, unter welchem sie arbeiten sollen. Aber beim Gebrauche kann es durch besonders lebhaftes Feuern, durch Versperrung der Ausgänge des Dampfes, oder auf andere Weise kommen, daß der Dampf eine viel höhere Spannung annimmt, als er annehmen soll. Um in diesem Falle gesichert zu seyn, bringt man in dem Kessel Sicherheitsventile an, d. h. Klappen, welche sich öffnen und den Dampf ausströmen lassen, wenn er eine gewisse Größe der Spannung erreicht. Ein solches Sicherheitsventil zeigt die Fig. 74.

Fig. 74.



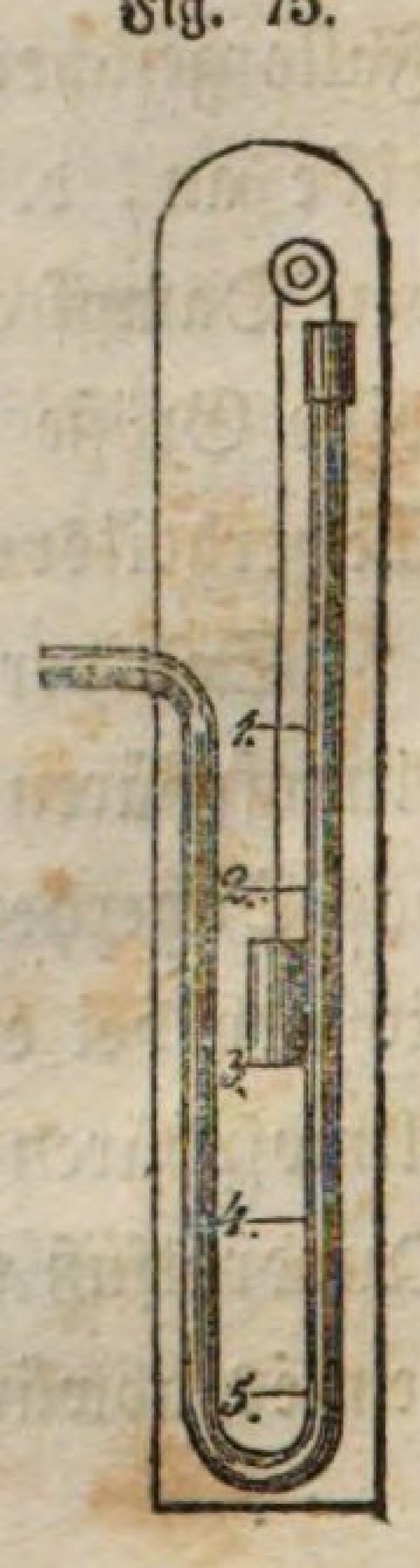
Soll der Dampf im Kessel z. B. höchstens 4 Atmosphären Spannung annehmen, so wird man das Sicherheitsventil so belasten müssen, daß es sich erst bei einem Drucke von etwas mehr als 4 Atmosphären öffnet. Für eine Fläche von einem Quadratfuß muß also das Gewicht des Ventils, oder der Druck, mit dem es abwärts gedrückt wird, $3 \times 1860 = 5580$ Pfd. seyn; dem

Drucke der 4ten Atmosphäre hält der Druck der äußern Luft das Gleichgewicht. Die Größe des Sicherheitsventiles muß so bestimmt seyn, daß bei seiner Hebung der Dampf entweichen kann, sowie er sich bildet.

Durch unverhältnißmäßige Belastung des Sicherheitsventiles sind mehrere Explosionen verursacht worden; so wurde das Dampfschiff der Rhone am 4. März 1827, eben als es in Gegenwart der Autoritäten von Lyon probirt werden sollte, zersprengt. Der Ingenieur Steel hatte, in der Besorgniß, das Schiff werde nicht so schnell, als er gehofft hatte, gegen den Strom fortgehen, die Sicherheitsventile der vier Dampfkessel festgespannt, um dem Dampfe eine höhere Spannung geben zu können. Die Folge dieser grenzenlosen Unvorsichtigkeit war, daß drei der Dampfkessel zerrissen, daß die Rauchröhren, 30 Centner schwer, beinahe vertical zu beträchtlicher Höhe geschleudert wurden, daß der obere Theil eines dieser Dampfkessel, über 20 Centner schwer, auf eine Entfernung von mehr als 800 Fuß weit geworfen wurden. Mehrere Personen, worunter Steel, waren die Opfer dieser Explosion.

158. Weil aber auch bei guter Besorgung des Sicherheitsventiles dieses zufällig seine Dienste versagen kann, so bringt man in der Regel an dem Dampfkessel noch eine Vorrichtung an, welche die Spannkraft des Dampfes unmittelbar angibt, und die man Manometer nennt. Für Dampf von nicht mehr als 3 Atmosphären Spannkraft wendet man gewöhnlich das in Fig. 75. dargestellte Manometer an. Eine eiserne Röhre, von der Stärke eines Flintenlaufes, führt aus dem Dampfraume des Kessels, und ist dann heberförmig gebogen. In diese Röhre bringt man Quecksilber, welches in dem einen Schenkel unter dem Drucke des Dampfes, in dem andern unter dem Drucke der Atmosphäre steht. Hat man z. B. Dampf von 3 Atmosphären Druck, so wird dieser das Quecksilber auf seiner Seite niederdrücken, und in dem andern Schenkel, wenn dieser gleich weit mit dem ersten ist, ebenso weit heben, bis endlich der Dampfdruck mit dem Drucke des Quecksilbers und der auf diesem lastenden Atmosphäre im Gleichgewichte ist.

Fig. 75.



Dieß wird hier der Fall seyn, wenn das Quecksilber im einen Schenkel um 2 × 28 = 56 Pariser Zoll höher steht, als im andern. Um den Stand des Quecksilbers zu erkennen, schwimmt auf diesem ein Stück Eisen, das an einem Faden hängt, welcher oben über eine Rolle geschlagen ist, und an seinem andern Ende den Zeiger trägt. Steigt dieser Zeiger von der oben angenommenen Lage um 14 Zoll, so ist das Quecksilber im längeren Schenkel um 14 Zoll gefallen, im kürzeren um 14 Zoll gestiegen, steht also jetzt dort noch 28 Zoll höher, als hier, und der Dampfdruck ist jetzt noch 2 Atmosphären.

Um den Heizer zu benachrichtigen, daß der Dampf eine zu hohe Spannung erreicht habe, hat man gewöhnlich noch die Vorrichtung angebracht, daß der Zeiger bei zu tiefem Sinken auf eine Glocke fällt, und diese zum Schellen bringt.

159. Bei manchen Explosionen hat man beobachtet, daß das Sicherheitsventil sich kurz vor der Explosion öffnete, bei andern, daß die Maschinen schlecht arbeiteten, also die Spannung des Dampfes nur gering war. Man hat verschiedene Erklärungen dieser Erscheinungen versucht, ohne bis jetzt alle Erscheinungen genügend zu erklären, auch scheinen die Ursachen nicht immer dieselben zu seyn. Gewöhnlich nimmt man an, daß durch schlechten Gang des Speiseapparates der Wasserspiegel in dem Kessel unter seinen gewöhnlichen Stand gesunken sey, so daß jetzt die innen nur mit Dampf in Berührung stehenden Kesselwände außen zum Theil unmittelbar dem Feuer ausgesetzt, also sehr heiß, ja, wie man beobachtet hat, selbst glühend werden. Im glühenden Zustande hat das Metall nur eine geringe Festigkeit, und ist also hierdurch schon dem Zerreißen sehr ausgesetzt.

Durch die theilweise Entblößung der Kesselwand von Wasser wird diesem weniger Wärme zugeführt, als wenn es mit einem größeren Theile der Kesselwand in Berührung stünde. Es bildet sich also weniger Dampf in derselben Zeit, die Maschine geht langsamer. Die gewöhnliche Folge des langsameren Ganges der Maschine ist ein stärkeres Heizen; die Temperatur im Kessel steigt, damit zugleich die Spannung des Dampfes, die so weit gehen kann, daß das Sicherheitsventil geöffnet wird, und der Dampf ausströmt. Diese höhere Spannung

des Dampfes kann wohl in der Regel die glühende Kesselwand nicht mehr ertragen, sie zerreißt.

Wird durch die Oeffnung des Sicherheitsventiles, oder durch einen erst kleinen Riß dem Dampfe ein weiterer Ausweg geboten, so sinkt die Spannkraft der Dämpfe und damit ihre Temperatur. Das heißere Wasser im Kessel verwandelt sich nun plötzlich soweit in Dampf, bis die Temperatur desselben auf die Temperatur des Dampfes gesunken ist, und diese plötzliche Dampfbildung geht nicht etwa nur an der Oberfläche des Wassers vor sich, sondern durch die ganze Masse, welche plötzlich aufschäumt, oder bei einer dargebotenen Oeffnung durch diese weithin fortspritzt; eine Thatsache, welche wir in unsern physikalischen Cabinetten beim Sieden im luftverdünnten Raume zu sehen gewohnt sind.

Diese plötzliche Dampfbildung ist nun die unmittelbare Ursache des entweder bereits begonnenen, oder doch durch das Glühen vorbereiteten Zerreißens des Kessels, welches mit großer Heftigkeit erfolgen kann, da, wie eben dem Dampfe neuer Ausweg gegeben wird, und damit seine Spannung abzunehmen anfängt, dieß eine erneute Ursache zu weiterer Dampfbildung wird.

Man sieht aus dieser Darstellung, daß es vor allen Dingen wichtig ist, gute Speisevorrichtungen an den Dampfkesseln anzubringen, und daß man sich nicht begnügen müsse mit einem Apparate, welcher den Wasserspiegel im Kessel angibt, sondern daß man deren zwei anbringen müsse, von welchen zu hoffen ist, daß, wenn auch der eine seine Dienste aus irgend einer Ursache versagt, dann wenigstens der andere nicht zugleich unbrauchbar sey; daß man endlich als Heizer nur wachsame und verständige Personen anstellen solle.

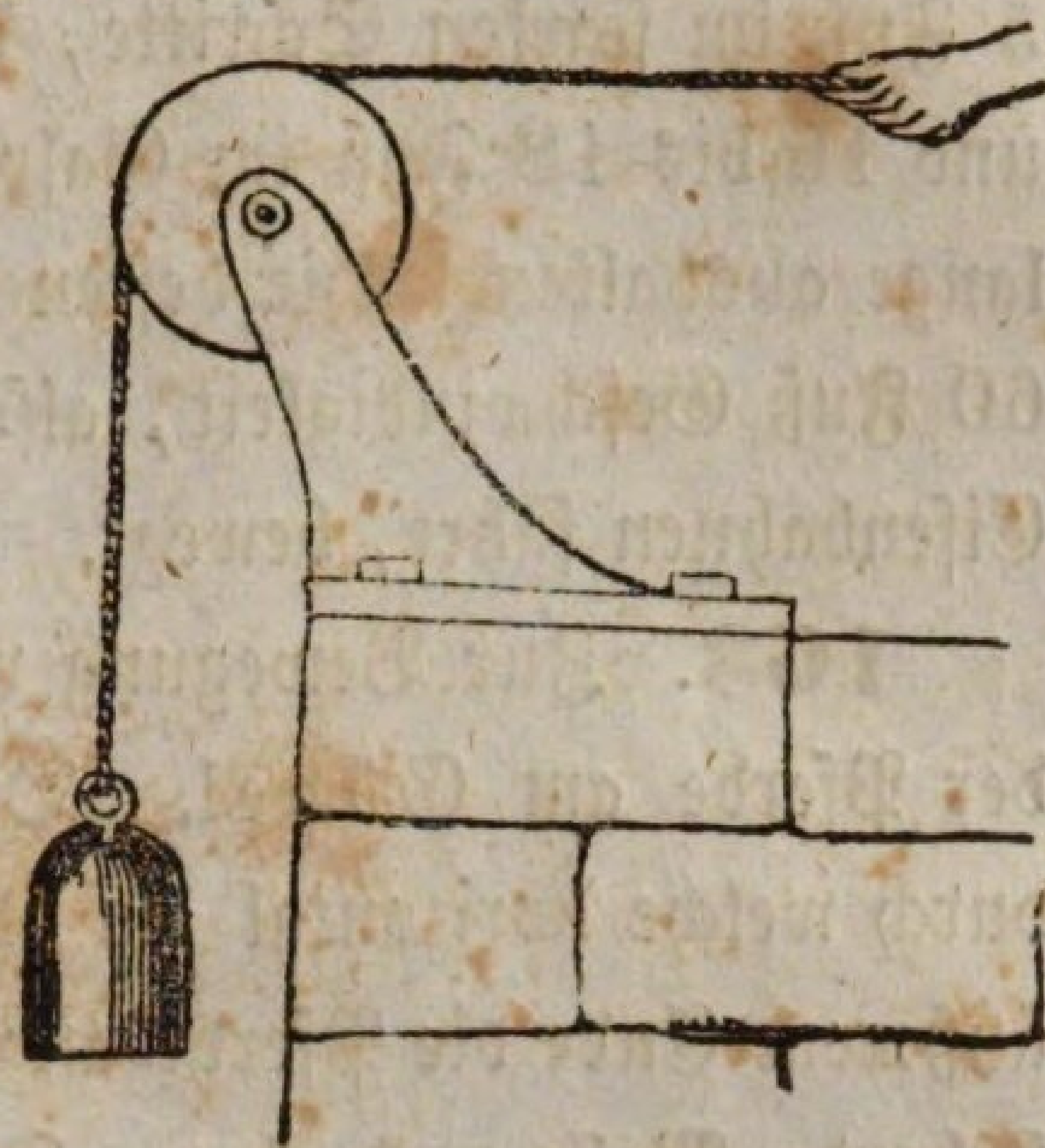
§. 4. Die Kraft der Thiere und des Menschen.

160. Von den Thieren wird hauptsächlich das Pferd zur Bewegung verwendet, minder häufig das Rindvieh, und nur im Kleinen der Hund. Wir betrachten hier nur die Kraft des Pferdes.

161. Das Pferd wird zum Zuge, zum Tragen und endlich durch Benutzung seines Gewichtes verwendet.

Beim Zuge kann die Kraft des Pferdes dadurch gemessen werden,

daß man es an einer Vorrichtung, wie Fig. 1. diese zeigt, ziehen läßt, wodurch man immer ein Gewicht erhält, was durch die Kraft des Pferdes erhoben wird. Dabei findet man, daß die Kraft des Pferdes, das Gewicht, das es erheben kann, um so kleiner wird, je schneller es läuft.



Für ein mittleres Pferd kann man die Zugkraft

bei	2	Fuß	Geschwindigkeit	gleich 160	Pfund,
„	3	„	„	„ 120	„
„	4	„	„	„ 90	„
„	5	„	„	„ 62	„
„	6	„	„	„ 40	„
„	7	„	„	„ 23	„

annehmen.

Die Arbeiten, welche das Pferd hierbei leistet, sind $2 \times 160 = 320$ Fußpfund; $3 \times 120 = 360$ Fußpfund; $4 \times 90 = 360$ Fußpfund; $5 \times 62 = 310$ Fußpfund; $6 \times 40 = 240$ Fußpfund, und $7 \times 23 = 161$ Fußpfund.

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, daß die vortheilhafteste Verwendung des Pferdes die ist, bei welcher es unter gehöriger Belastung sich mit 3 bis 4 Fuß Geschwindigkeit, d. h. in ziemlich langsamem Schritte bewegt, eine Geschwindigkeit, mit welcher sich unsere Frachtfuhren bewegen.

Welche Last ein Pferd hierbei fortzuführen vermag, hängt von der Steigung und der Art der Straße ab; wir haben dieß in den Nummern 77. bis 83. untersucht.

Bei einer Anstrengung, wie sie diese Lasten erfordern, kann man annehmen, daß ein Pferd 8 Stunden täglich arbeitet.

162. Die Geschwindigkeit, mit der sich ein Pferd bewegen kann, ist sehr verschieden, nach seinem Bau und seiner Gewohnheit; als mittlere Werthe können folgende gelten: 3 Fuß im kleinen Schritte,

5 Fuß im starken Schritte, 7 Fuß bis 10 Fuß im Trabe oder Trott, und 16 bis 18 Fuß im Galopp, den aber die Pferde bekanntlich nicht lange aushalten. Die besten Renner haben kurze Zeit sich mit 40 bis 60 Fuß Geschwindigkeit, also der Geschwindigkeit, mit der man auf Eisenbahnen fährt, bewegt.

163. Zur Bewegung von Maschinen benützt man die Zugkraft der Pferde am Göpel. Dieser besteht aus einer stehenden Welle, durch welche horizontal ein oder mehrere Arme gesteckt sind, an deren äußerem Ende die Pferde angespannt sind, welche auf diese Weise die stehende Welle umdrehen. Die Arbeit, welche man hierbei von einem Pferde erhält, ist nach Abzug der Arbeit, welche zur Ueberwindung der Reibung an den Zapfen des Göpels verwendet wird, ungefähr eine halbe Pferdskraft, wie diese in Nro. 11. bestimmt wurde.

164. Beim Gehen des Pferdes wird bei jedem Schritte das Gewicht des Pferdes und die Last, welche es etwa auf dem Rücken trägt, etwas in die Höhe gehoben, und sinkt dann wieder. Trägt also ein Pferd eine Last, so kann auch hier wieder seine Arbeit dadurch ausgedrückt werden, daß diese Last und das Gewicht des Pferdes auf eine bestimmte Höhe gehoben wird, und dann ist diese Arbeit vergleichbar mit der Arbeit anderer Kräfte. Diese Art, die Arbeit auszudrücken, ist aber hier nicht gebräuchlich, man gibt vielmehr nur an, welche Last und wie weit ein Pferd diese tragen kann. Die Lastpferde läßt man häufig ungefähr $2\frac{1}{2}$ Centner tragen, und diese Last bewegen sie mit 3 bis 4 Fuß Geschwindigkeit.

Man sieht leicht ein, daß diese Art der Benützung der Pferdekraft nur dort vortheilhaft ist, wo die Straßen sehr unwegsam sind, weßhalb man sie auch nur in rauhen Gebirgsgegenden, in denen noch keine fahrbaren Straßen angelegt sind, antrifft. Auf guten Straßen würde beim Zuge dasselbe Pferd mit derselben Anstrengung eine viel größere Last fortschaffen.

165. Das Gewicht eines Pferdes kann man im Mittel zu 560 Pfd. annehmen. Durch das Gewicht eines Pferdes läßt man zuweilen ein Laufrad umtreiben, ein Rad, das um eine horizontal liegende Welle gebaut ist, und in welchem das Pferd geht. Die Maschine ist

sehr schwerfällig, nimmt einen sehr großen Raum ein, (es soll mindestens 24 Fuß Durchmesser und 4 Fuß Breite haben), und verdirbt die Pferde, welche in ihm gehen, zu jedem andern Gebrauche. Das Gleiche gilt von den Treträdern und Tretscheiben.

166. Der Mensch, obwohl die theuerste Kraft, welche wir zur Bewegung verwenden können, hat den Vorzug durch die verschiedene Art, wie er hierzu gebraucht und daß ihm zugleich die Leitung der Maschine überlassen werden kann. Die Kraft des Menschen kann im Durchschnitt bei

1 Fuß Geschwindigkeit	zu 45 Pfd.,	Arbeit	$1 \times 45 = 45$	Fußpfund
2 " "	" 28 "	"	$2 \times 28 = 56$	"
3 " "	" 18 "	"	$3 \times 18 = 54$	"
4 " "	" 7 "	"	$4 \times 7 = 28$	"

angenommen werden.

Die vortheilhafteste Kraftäußerung, welche ihm zugemuthet wird, liegt, wie aus dieser Tafel hervorgeht, nahe bei 25 Pfd., wo seine Geschwindigkeit etwas über 2 Fuß beträgt. Die größte Arbeit, welche er leisten kann, ist etwa der 7te Theil von der größten Arbeit des Pferdes; daher der bekannte Satz, daß ein Pferd so viel leiste, als 7 Menschen.

167. Die Kraft des Menschen verwendet man am Hebel, an dem Seile, der Rolle, an der Kurbel, wovon der Hornhaspel Fig. 39. auf S. 65. ein Beispiel gibt; zahlreiche andere Arbeitsweisen, wie Sägen, Schneiden ꝛc., können hier nicht aufgezählt werden.

168. Beim Lasttragen rechnet man auf einen Mann etwa 80 Pfd., wenn er darin geübt ist. Diese trägt er mit $2^1/_2$ Fuß Geschwindigkeit etwa 7 Stunden lang im Tage.

169. Das Gewicht eines Mannes beträgt durchschnittlich 140 Pfd. Man sieht zuweilen auch dieses Gewicht als bewegende Kraft in Laufrädern, in englischen Strafanstalten auf Treträdern verwendet.

170. Ehe wir die Betrachtung der bewegenden Kräfte verlassen, wollen wir noch einige Bemerkungen über die Wahl der einen oder der andern dieser Kräfte beifügen.

Die Kraft des Windes ist zu veränderlich, und zu wenig von uns abhängig, als daß sie je eine große Bedeutung erlangen könnte.

Die Wasserkraft ist für unser deutsches Vaterland, besonders für den südlichen, gebirgigen Theil, die wichtigste unter allen. Sie ist bei uns in der Regel die wohlfeilste. Die Unterhaltung eines sorgfältig gebauten Kanals, gut construirter Wasserräder sind sehr unbedeutend, und die Wasserkraft kostet also beinahe nur die Zinsen des Anlagekapitals, was freilich oft, wo ein großes Wehr, wo ein langer Kanal gebaut werden muß, sehr hoch steigen kann. Neben diesen großen Vorzügen der Wasserkraft hat sie aber auch ihre Nachtheile, wohin ich besonders rechne die Gefahr des Einfrierens im Winter, den Mangel an Wasser in trockenen Sommern, in manchen Lokalitäten das Aufstauen der Hinterwasser, Umstände, welche eine zeitweise Unterbrechung des Betriebs und damit Verluste zur Folge haben können.

Die Dampfkraft erfordert in vielen Fällen ein geringeres Anlagekapital, aber sie fordert immerwährend Brennmaterial und Arbeiter, welche die Maschine bedienen. Sind die Kosten hierfür nicht zu groß, so hat die Dampfkraft die großen Vorzüge, daß sie an jedem Orte hervorgebracht werden kann, daß sie zu jeder Zeit zu benützen und kein Stillstand des Geschäftes wegen Witterungs-Verhältnissen zu befürchten ist. Sie ist deßhalb auch die wahre Seele der Industrie; ohne sie hätte England sein großes Uebergewicht in aller Fabrikation niemals erreicht.

Die Kraft der Thiere wird beim Transport bei uns noch beinahe allgemein verwendet, bei Maschinen aber tritt sie ihrer Kostspieligkeit wegen immer mehr zurück, was in noch höherem Grade von der Kraft des Menschen gilt, welcher mehr und mehr durch die geistlosen Kräfte seiner wahren Bestimmung, den Geschäften, welche Geist erfordern, zugedrängt wird.

Fünftes Buch.

Mittheilung der Bewegung.

171. Durch die in dem vorhergehenden Buche betrachteten Kraftmaschinen erlangt man eine Bewegung, durch welche irgend eine bestimmte Arbeit vollführt werden soll. Diese Arbeit verlangt eine besonders beschaffene Bewegung, welche man aus der Bewegung der Kraftmaschine ableiten muß. Soll z. B. mittelst einer Wasserkraft eine Säge bewegt, eine Sägmühle construirt werden, so wird man zur Benützung der Wasserkraft eine der hierzu tauglichen Maschinen erbauen, gewöhnlich ein verticales Wasserrad, wodurch man zunächst eine drehende Bewegung erhält. Die Säge verlangt eine geradlinige, hin- und hergehende Bewegung. Man muß also Mittel haben, um die kreisförmige Bewegung des Wasserrads in die hin- und hergehende geradlinige Bewegung der Säge umzuwandeln. Ferner soll die Säge in einer Minute ungefähr 100 Schnitte thun, also 100mal auf- und abgehen; es stellt sich also die Aufgabe noch bestimmter dahin, neben der Aenderung der Bewegungsrichtung auch zugleich die Geschwindigkeit zweckmäßig abzuändern.

Bei vielen Maschinen kommen große Ungleichheiten sowohl der Kraft, als auch des Widerstandes, der zu gewältigen ist, vor, wodurch ein sehr ungleichförmiger Gang der Maschine bewirkt wird, was sowohl auf das Fabrikat, wie besonders bei Spinnstühlen, theils auf die Maschinerie einen sehr nachtheiligen Einfluß hat. Es entsteht also noch die weitere Aufgabe für den Mechaniker, seine Maschine so einzurichten, daß der Gang derselben ein möglichst gleichförmiger werde.

Hiernach ergeben sich die beiden Abtheilungen dieses Buchs.

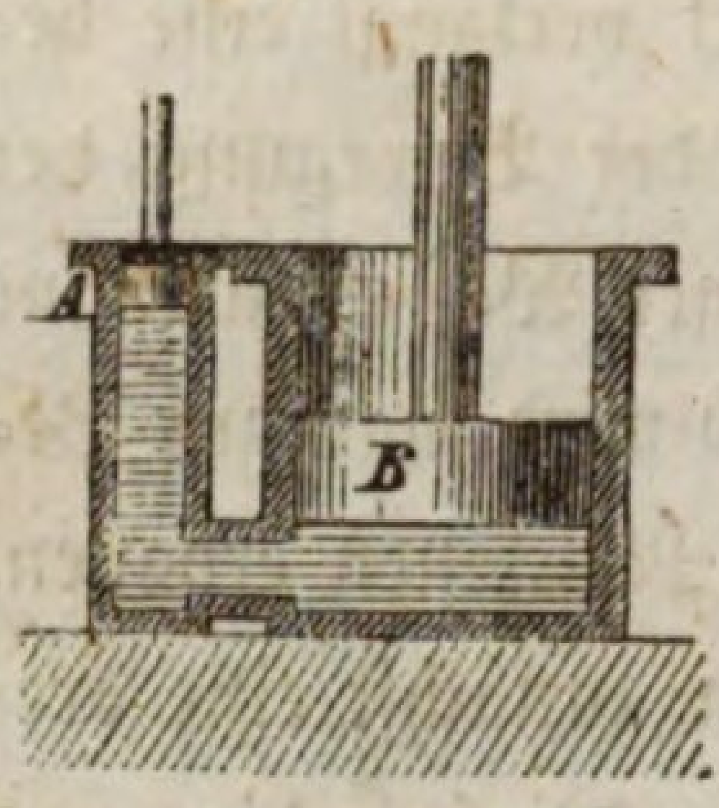
§. 1. Von den Bewegungsmittheilern.

172. Zur Mittheilung vorhandener Bewegung gebraucht man sowohl feste als flüssige Körper. Die ersten erscheinen in sehr mannig-

facher Form, die Anwendung der letzten ist mehr beschränkt, aber gleichwohl von großer Wichtigkeit. Wir wollen sie zuerst betrachten.

Hat man ein geschlossenes Gefäß mit Wasser gefüllt, so wird jeder Druck auf dieses Wasser durch dasselbe nach allen Richtungen hin fortgepflanzt, überall, wo man diesem Wasser einen Ausweg gestattet, springt es diesem Drucke gemäß hervor, oder überall muß es durch die Wände zurückgehalten werden mit einer Kraft, welche jenem Drucke gleich ist.

Fig. 76.



Stellt z. B. Fig. 76. ein solches Gefäß dar, bei welchem auf der einen Seite der Verschluß durch den Kolben A bewerkstelligt ist, so wird, sobald dieser Kolben mit einer Kraft von z. B. 100 Pfd. herabgedrückt wird, dieser Druck sich durch das Wasser nach allen Seiten hin fortpflanzen. Ist der Querschnitt des Kolbens A z. B. ein Quadratzoll, so wird das Wasser jeden Theil der Wände des Gefäßes, der einen Quadratzoll groß ist, mit einer Kraft gleich 100 Pfd. hinauszudrücken suchen. Ist z. B. B ebenfalls ein beweglicher Kolben, so wird dieser nach oben getrieben werden, und man wird jeden Quadratzoll desselben mit 100 Pfd. belasten müssen, damit dieß nicht geschieht.

Wird der Kolben A in der That herabgedrückt, so erhebt sich der Kolben B, und wie man leicht sieht, ist die Arbeit, welche der Kolben B leistet, der auf A verwendeten gleich, wie dieß nicht anders seyn kann, das Wasser überträgt diese Arbeit nur und ändert die Art, aber nicht die Größe. Wird z. B. der Kolben A einen Fuß tief herabgedrückt, so ist hierzu der Kraftaufwand $100 \times 1 = 100$ Fußpfund erforderlich. Dabei werden 10 Kubikzoll Wasser in den weiteren Cylinder hinübergetrieben. Ist nun der Querschnitt des Kolbens B etwa 50 Quadratzoll, so wird dieser Kolben durch jene 10 K.-Zoll Wasser $\frac{1}{5}$ Zoll in die Höhe geschoben, und also 50×100 Pfd., seine Belastung, soweit erhoben, was die Arbeit $5000 \times \frac{1}{50} = 100$ Fußpfund, wie oben, gibt.

Man sieht die Uebereinstimmung der in Fig. 76. vorgestellten Vorrichtung mit dem Hebel.

173. Die Vorrichtung, wie sie in Fig. 76. vorgestellt ist, hat eine ausgedehnte Anwendung unter dem Namen der hydraulischen Presse erhalten. Es ist leicht abzusehen, worauf es ankommt, um eine solche Presse zu construiren. Bei Fig. 76. dauert der Druck des Kolbens B nach oben, gegen eine dort befestigte Preßplatte, so lange der Kolben A abwärts gedrückt wird. Bei den Verhältnissen, wie wir sie oben annahmen, geht dieser einen Fuß tief, wobei die zu pressenden Gegenstände, welche auf dem Kolben B liegen, um $^1/_5$ Zoll mit einer Kraft 5000 Pfd. zusammengedrückt werden. Um nun den Druck weiter fortsetzen zu können, muß der Kolben A zurückgezogen werden können, ohne daß das unter B befindliche Wasser zurücktreten kann. Es muß also zwischen den beiden Stiefeln A und B ein Ventil, eine Klappe angebracht werden, welche dem Wasser den Durchgang von A nach B erlaubt, aber zurück verschließt. Beim Zurückgehen des Kolbens A muß zugleich Wasser unter diesen Kolben treten; es muß also in dem Stiefel A unten ein Ventil angebracht werden, das sich öffnet, wenn der Kolben A aufwärts geht, und sich beim Abwärtsgehen dieses Kolbens schließt. Das Wasser tritt dann aus einem Behälter, in welchem die beiden Cylinder stehen, ein.

Jetzt kann man durch fortdauerndes Hin- und Herbewegen des Kolbens A immer neues Wasser unter den Kolben B bringen, und damit die zu pressenden Gegenstände immer mehr zusammendrücken. Je mehr aber dieses erfolgt ist, desto mehr Kraft wird man auf das Niederdrücken des Kolbens A verwenden müssen, und desto mehr werden auch die Wände der Gefäße dem Zerreißen ausgesetzt seyn. Um diesem vorzubeugen, bringt man noch ein drittes Ventil an, das Sicherheitsventil, das so belastet wird, daß es sich erst öffnet, wenn der Druck im Innern der Presse eine bestimmte Grenze überschreitet. Sobald dieß geschieht, spritzt das Wasser durch dieses Sicherheitsventil ins Freie, und der Druck in der Presse kann nicht mehr höher steigen.

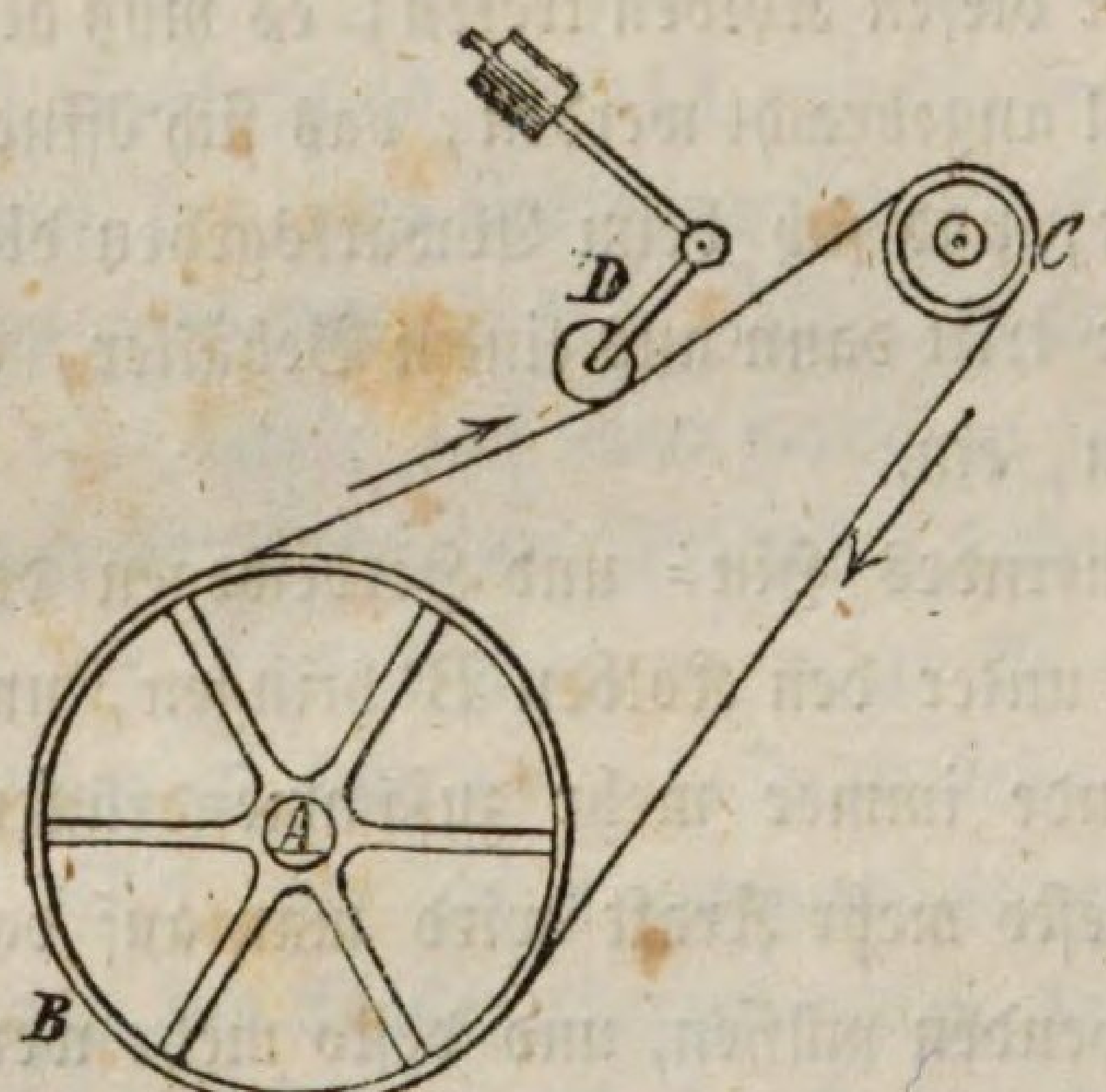
174. Die mannigfaltigsten Bewegungsänderungen werden durch feste Maschinentheile hervorgebracht, von welchen ich hier nur die wesentlichsten hervorheben kann; die Zahl aller erdachten, hierher gehörigen Vorkehrungen ist außerordentlich groß, wie man sich leicht über-

zeugt, wenn man nur eine Spinnerei, oder einige der neueren Vorrichtungen zum Bearbeiten der Metalle, Hobelmaschinen und dergleichen durchgeht.

Die gewöhnlichsten Bewegungen, welche die Kraftmaschinen unmittelbar geben, sind die kreisförmigen, wie bei den Wasserrädern, und die hin- und hergehende geradlinige Bewegung, wie bei den Dampfmaschinen. Diese beiden Bewegungen sind auch die, welche gewöhnlich in den Arbeitsmaschinen gebraucht werden; wir wollen also sehen, wie man die eine aus der andern herstellen, und wie man dabei die Geschwindigkeit beliebig abändern kann.

175. Um eine kreisförmige Bewegung an eine andere Stelle mit derselben oder einer andern Geschwindigkeit zu übertragen, braucht man besonders die Seil- oder Riemenrollen, und die gezahnten Räder.

Fig. 77.



Bei der Riemenrolle (Fig. 77.) wird die Bewegung, welche die Achse A hat, von dem um die Rollen B und C gespannten Riemen (Seil) aufgenommen, und der Rolle C und ihrer Achse mitgetheilt.

Ist der Riemen gehörig gespannt, so ist seine Reibung an den Rollen so groß, daß er nicht mehr über sie gleitet, sondern sich mit der Rolle B und mit sich die Rolle C fortschiebt. Dabei wird dann ein Punct des Umfanges an der Rolle B eben so weit kommen, als ein Punct im Umfange der Rolle C. Ist nun z. B. der Durchmesser der Rolle B dreimal so groß, als der Durchmesser von C, so wird auch der Umfang von B dreimal so groß seyn, als der von C, und der Punct im Umfange von C wird dreimal den ganzen Umfang durchlaufen, bis dieß bei dem Puncte im Umfange von B einmal der Fall ist, oder die Rolle C wird drei Umläufe machen, bis die Rolle B einen gemacht hat.

Man sieht an diesem Beispiele, wie man mit Riemenrollen die

Zahl der Umläufe beliebig ändern kann, wobei nur zu bemerken ist, daß man auf einmal hier nicht gerne zu weit geht, weil die Rollen zu sehr verschieden in ihren Durchmessern würden, wobei von der kleinen Rolle nur ein sehr kleiner Bogen umspannt, und der Riemen auf dieser sehr leicht gleiten, also die Rolle oder der Riemen stehen bleiben würde. Soll aber die Zahl der Umläufe sehr vermehrt oder vermindert werden, so kann dieß durch wiederholte Anwendung der Riemenrollen geschehen. Will man z. B. von einer Achse A, welche in der Minute 10 Umdrehungen macht, die Bewegung auf eine andere, B, übertragen, welche in einer Minute 200mal umläuft; so kann man von der ersten Achse A zu einer zweiten C übergehen, welche in einer Minute 40 Umläufe macht, was durch Rollen von den Durchmessern 4 und 1 geschieht. Auf der Achse C bringt man dann eine zweite Rolle an, welche mit einer Rolle auf der Achse B durch einen Riemen verbunden ist. Gibt man diesen Rollen die Durchmesser 5 und 1, so wird die Achse B 5 Umläufe machen, bis C einen gemacht hat, also in einer Minute 200, wie verlangt war.

176. Die Spannung, welche erforderlich ist, um das Gleiten der Riemen auf den Rollen zu verhindern, drückt zugleich die Achsen der Rollen in ihre Lager, und bringt dort eine Reibung hervor, welche als Nebenlast mit überwunden werden muß. Aus diesem Grunde, und weil eine stärkere Spannung einen stärkeren Riemen verlangt, muß man suchen, die Spannung nie größer zu nehmen, als eben für die Bewegung, zur Verhinderung des Gleitens erfordert wird. Man bewirkt diese Spannung entweder durch kürzeres Schnallen des Riemens, oder durch ein Gewicht (D der Figur 78.), die Spannungsrolle, durch welches man den Riemen umbiegt.

177. Der Gebrauch der Riemenrolle ist sehr verbreitet; die Leichtigkeit, die Rollen anzubringen, die ziemlich große Entfernung, auf welche man die Bewegung übertragen kann, die Gleichförmigkeit, mit der dieß geschieht, empfehlen diese Art der Bewegungsmittheilung. Aber ihr Gebrauch ist beschränkt durch die Größe des Drucks, der fortgepflanzt werden soll. Dieser Druck ist sehr leicht zu bestimmen. Beträgt die Arbeit, welche durch die Riemenrolle geleistet werden soll,

z. B. 10 Pferdskräfte, oder 10 × 500 = 5000 Fußpfund, und die Geschwindigkeit des Riemens 20 Fuß, so ist der Druck, der übertragen werden muß, $^{5000}/_{20}$ = 250 Pfd. Zu diesem Druck würde schon ein 12 Zoll breiter Riemen gehören, welchen man nicht mehr wohl herstellen kann. Hier müßte man also auf die Anwendung der Riemenrolle verzichten, oder man müßte die Geschwindigkeit des Riemens vergrößern, und damit den fortzupflanzenden Druck vermindern, was z. B. durch Vergrößerung der Rollen geschehen könnte. Nimmt man die Durchmesser beider Rollen doppelt so groß, als vorhin, so wird das Verhältniß der Umläufe beider Rollen nicht geändert, aber es wird die Geschwindigkeit des Riemens doppelt so groß, also die fortzuführende Kraft nur noch 125 Pfd., und ein Riemen von 6 Zoll Breite genügt jetzt.

Fig. 78.

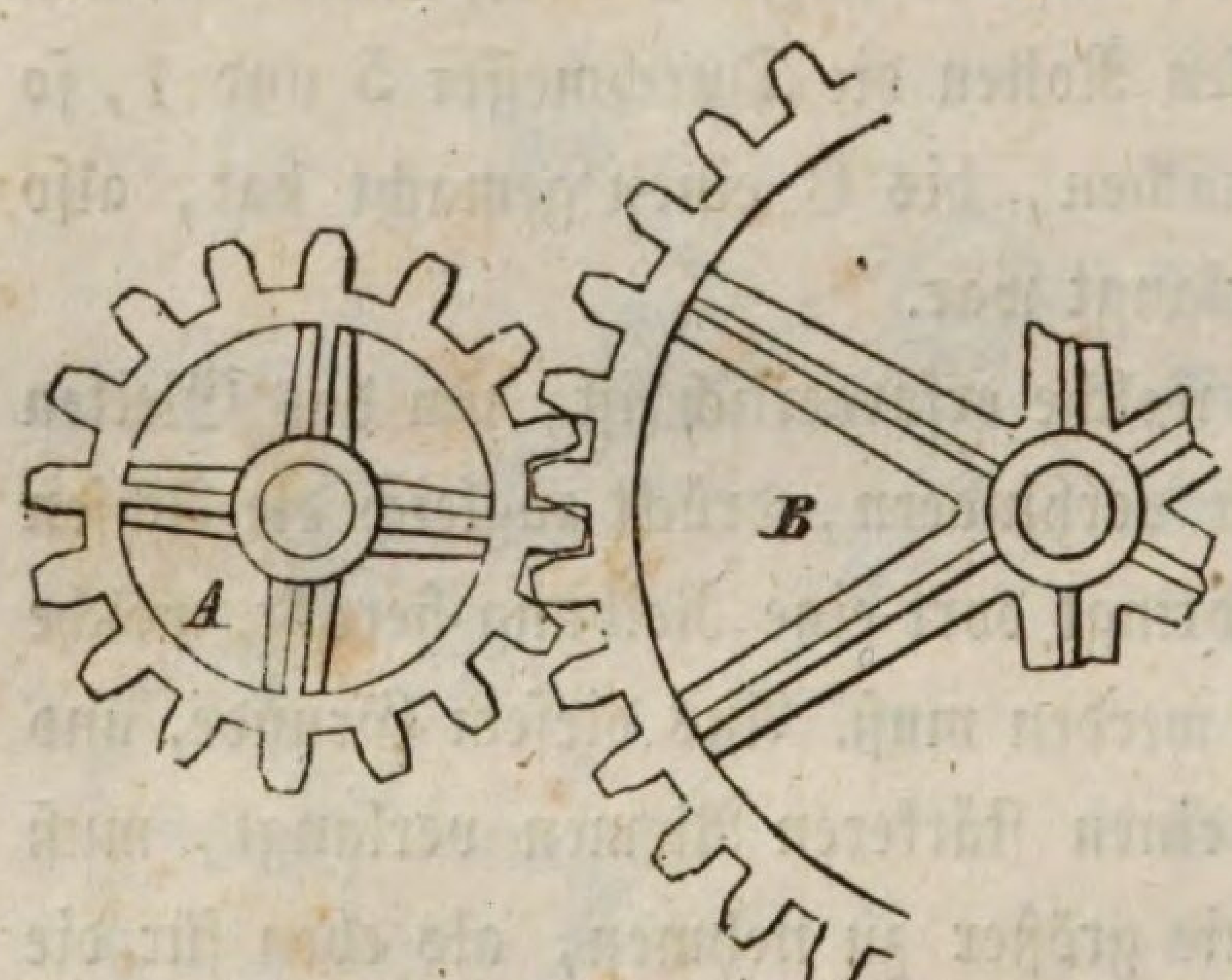
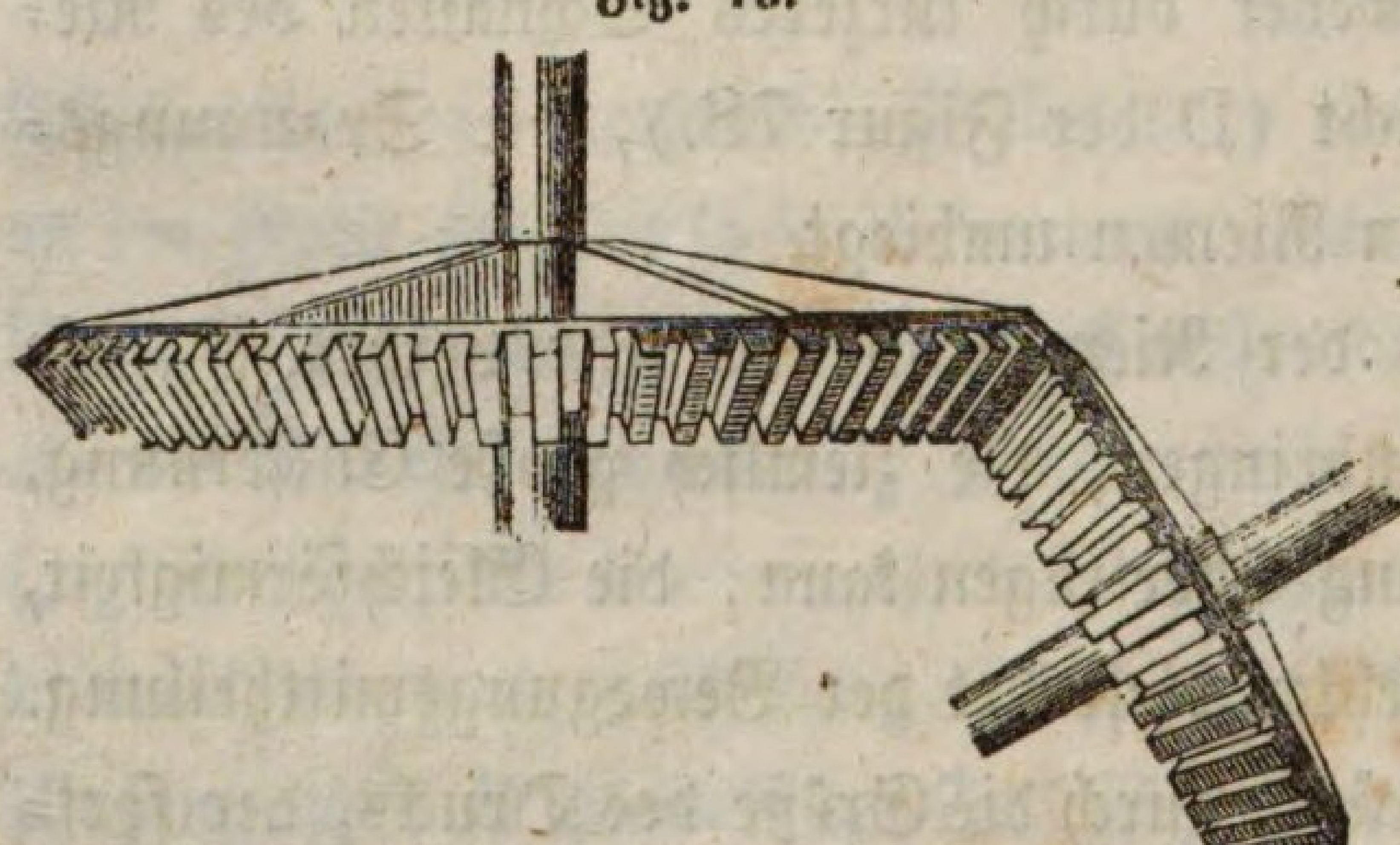


Fig. 79.



178. Bei größerem Drucke, oder wo die Wellen, welche die Bewegungen von einander abnehmen sollen, nahe beieinander liegen, nimmt man statt der Riemenrollen das Räderwerk, und zwar, wenn die beiden Achsen der drehenden Bewegung parallel mit einander laufen, die Stirnräder (Figur 78.), wo dieß nicht der Fall ist, in neuerer Zeit immer die sogenannten conischen Räder, (Figur 79.). Ist das eine dieser Räder ziemlich klein, so heißt es auch der Trilling, das Getriebe.

179. Bei diesen Rädern schiebt ein Zahn des einen je einen

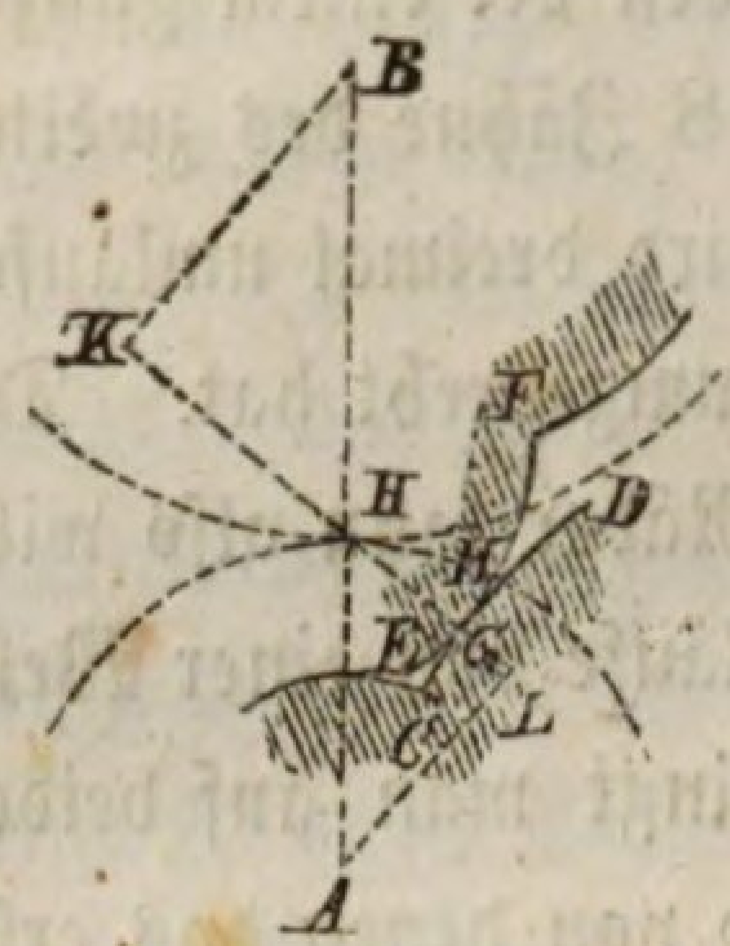
Zahn des zweiten Rades vor sich her; hat also z. B. das eine Rad A 8 Zähne, und das andere B 24 Zähne, so werden bei einem ganzen Umlaufe des ersten Rades seine 8 Zähne auch 8 Zähne des zweiten Rades fortgeschoben haben, und das erste Rad wird dreimal umlaufen müssen, bis das zweite Rad B einmal sich ganz umgedreht hat. Die Zahl der Umläufe zweier ineinander greifender Räder kann also willkürlich abgeändert werden; soll die Zahl der Umläufe von einer Welle A zu einer Welle B versechsfacht werden, so bringt man auf beiden Wellen Räder an, welche ineinander greifen, und von denen das erste sechsmal so viel Zähne hat, als das letzte.

Da, wie aus den Figuren hervorgeht, die Zähne des einen Rades von Mittel zu Mittel ebensoweit von einander entfernt seyn müssen, wie die des andern, da, wie man sich ausdrückt, zwei ineinander greifende Räder gleiche Schrift haben müssen, so muß auch das Rad mit sechsmal mehr Zähnen, als das andere, sechsmal so groß seyn, als dieses.

180. Ist die Entfernung der beiden Achsen, welche die Bewegung von einander erhalten sollen, gegeben, so ist damit und mit dem Umdrehungsverhältniß auch die Größe der Räder bestimmt. Ist aber die Entfernung jener Achsen nicht bestimmt, so kann man die beiden Räder groß oder klein nehmen, wenn nur das Verhältniß ihrer Zähne bewahrt wird. Ueber die Größe, welche man wählt, entscheidet dann die Größe der Kraft, welche von einem Rade auf das andere übertragen werden soll, welche man wie bei den Riemenrollen bestimmt, und welche um so kleiner wird, je größer ihr Hebelsarm, der Halbmesser des Rades, genommen wird. Je größer diese Kraft wird, desto stärker müssen die Zähne des Räderwerks genommen werden, wodurch eben oft bedingt wird, daß die Räder nicht sehr klein genommen werden dürfen.

181. Eine Frage, welche die Mechaniker viel beschäftigt hat, ist, welche Form sollen die Zähne erhalten? Die Bedingung, welche erfüllt werden soll, ist in den meisten Fällen die, daß die gleichförmige Bewegung des einen Rades gleichförmig auf das andere übertragen werden soll. Sind nun in Fig. 80. A und B die Mittelpuncte beider

Fig. 80.

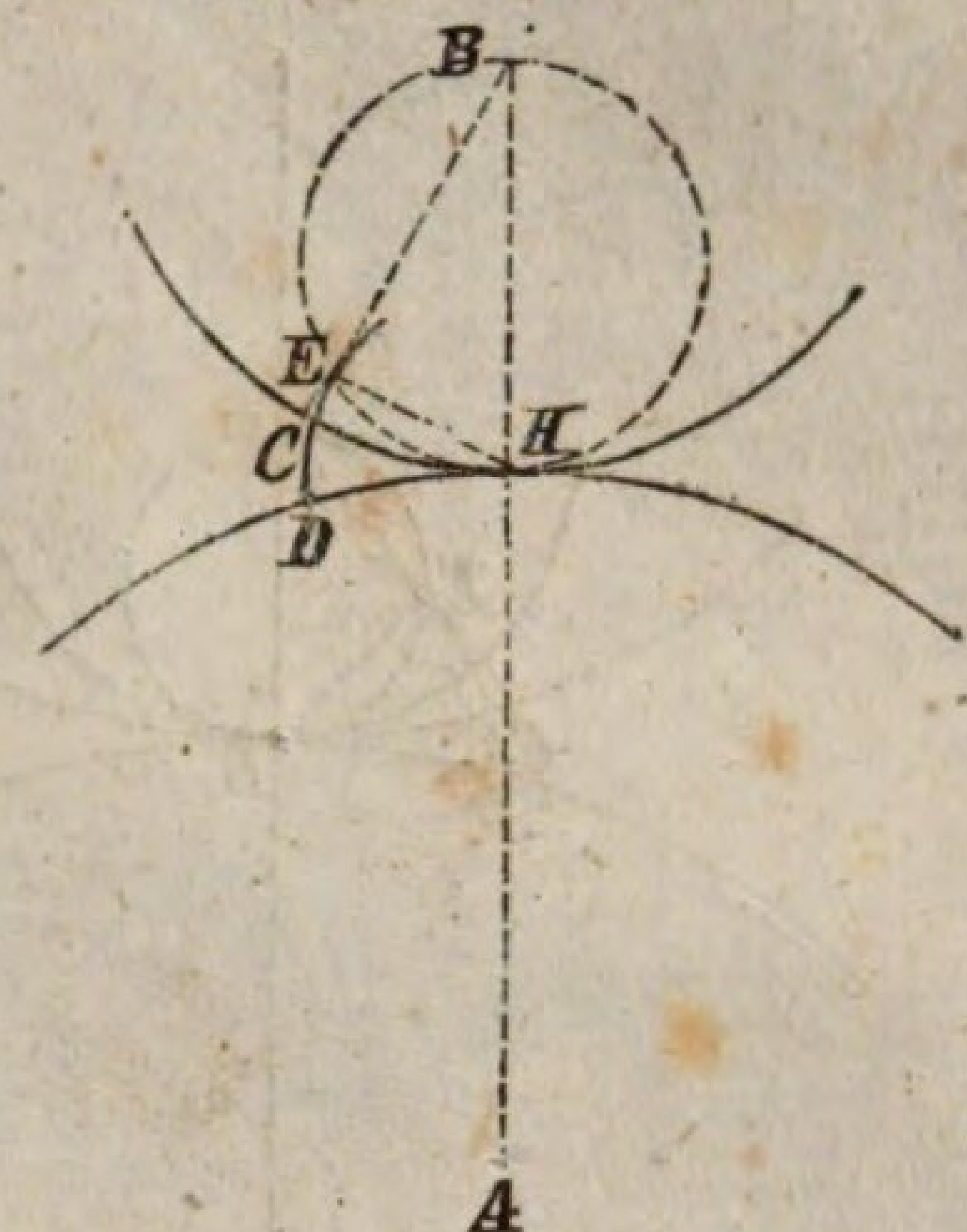


Räder, CD der Zahn des Rades um A, und FE der Zahn des Rades B, welche sich in G berühren, und steht GH rechtwinklich auf den beiden Zahnkrümmungen, so wird die Kraft des Rades A in der Richtung HG auf das Rad B übertragen werden. Die Hebelsarme dieser beiden Kräfte sind BK und AL, wenn diese beiden Linien rechtwinklich auf GH stehen. Da der Punct G für beide Räder in diesem Augenblicke dieselbe Geschwindigkeit hat, so werden die Umdrehungen beider Räder in diesem Augenblicke im umgekehrten Verhältnisse von BK und AL, oder von HB und AH erfolgen. Sind nun die Krümmungen beider Zahnflächen so gewählt, daß während der ganzen Dauer der Berührung beider, die rechtwinkliche auf ihre Krümmungen, welche durch den jedesmaligen Berührungspunct geht, die Verbindungslinie beider Mittelpuncte AB in demselben Puncte H durchschneidet, so wird auch immer die Umdrehungsgeschwindigkeit beider Räder in demselben Verhältnisse stehen, also die gleichförmige Bewegung des einen Rades auch dem andern Rade eine gleichförmige Bewegung mittheilen. Es ist also dieses die erste wesentliche Bedingung für die Krümmung der Zähne.

Die Umläufe beider Räder geschehen dann, als hätten beide die Halbmesser AH und BH, welche somit als die Halbmesser derselben in Betracht zu ziehen sind. Die mit ihnen beschriebenen Kreise nennt man die Theilkreise beider Räder.

182. Der aufgestellten Bedingung kann man auf verschiedene Weise genügen; leichte Ausführbarkeit der Construction, und namentlich die Bedingung, daß die Zähne möglichst wenig auf einander schleifen sollen, wodurch sie sich schnell abreiben, bestimmen die Art, wie man sie erfüllt. Eine der gewöhnlichsten ist die, daß man die Zähne beider Räder vom Theilkreis einwärts nach dem Radius begrenzt. Die Zähne berühren sich dann im Theilkreise in H. Sind HC und HD gleich große Bogen, so werden die Zähne von H auf beiden Kreisen zugleich nach C und D kommen. Die Rechtwinkliche von H auf die

Fig. 81.



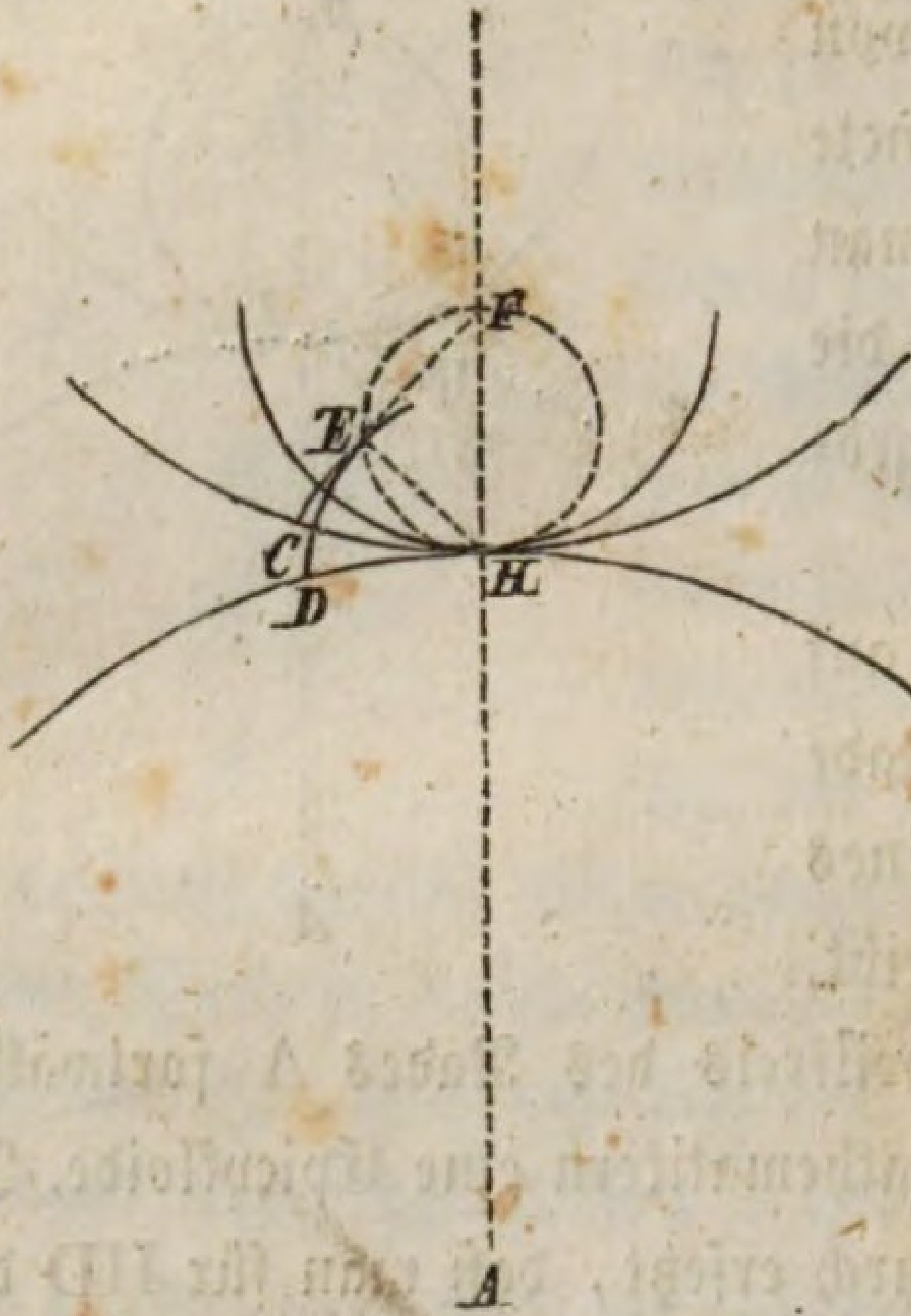
Zahnkrümmung BC trifft diese in E, und durch E muß also die Zahnlinie von D aus gehen. Wie man jetzt 2 Puncte der Zahnlinie bestimmt hat, kann man noch mehr bestimmen, wenn man nur die gleichen Bogen DH und CH beider größer oder kleiner annimmt.

Die krumme Linie, welche man auf diese Weise für die Zähne auf dem Rade A erhält, ist die, welche ein Punct eines Kreises vom Durchmesser BH beschreibt, wenn sich dieser Kreis über den Theilkreis des Rades A fortwälzt. Diese krumme Linie heißt bei den Mathematikern eine Epicykloide. In der Praxis wird sie gewöhnlich dadurch ersetzt, daß man für HD die Schrift des Rades nimmt, und zur Krümmung einen durch D und E gehenden Kreis nimmt, dessen Mittelpunct man auf dem Theilkreise von A sucht.

Treibt das kleinere Rad um B das größere, so wird jetzt das geradlinige Zahnstück CE das krumme Zahnstück ED forttreiben bis nach H, und zu weiterem Eingreifen wird man nun ebenso dem Rade B die Zähne über seinen Theilkreis verlängern, wobei man sie nach einer Epicykloide krümmt, welche man erhält, wenn ein Kreis vom Durchmesser HA auf dem Theilrisse des Rades B sich wälzt.

183. Wie aus dem Vorhergehenden sich ergibt, hängt die Zahnkrümmung des Rades A sowohl von seinem als von dem Halbmesser des Rades B ab. Soll nun, wie dieß öfters vorkommt, ein Rad mehrere andere von verschiedenem Durchmesser umtreiben, so kann die Krümmung der Zähne, wie sie oben angegeben wurde, nicht mehr angewendet werden. Man kann hier so verfahren: man construirt zuerst die Zähne des treibenden Rades und des kleinsten der Getriebe, wie oben bestimmt wurde, und läßt auch die äußeren Zahnstücke aller Getriebe, wie sie nach der vorhergehenden Nummer sich ergeben, und ändert nur die innerhalb des Theilrisses liegenden Zahnstücke nach folgender Construction.

Fig. 82.

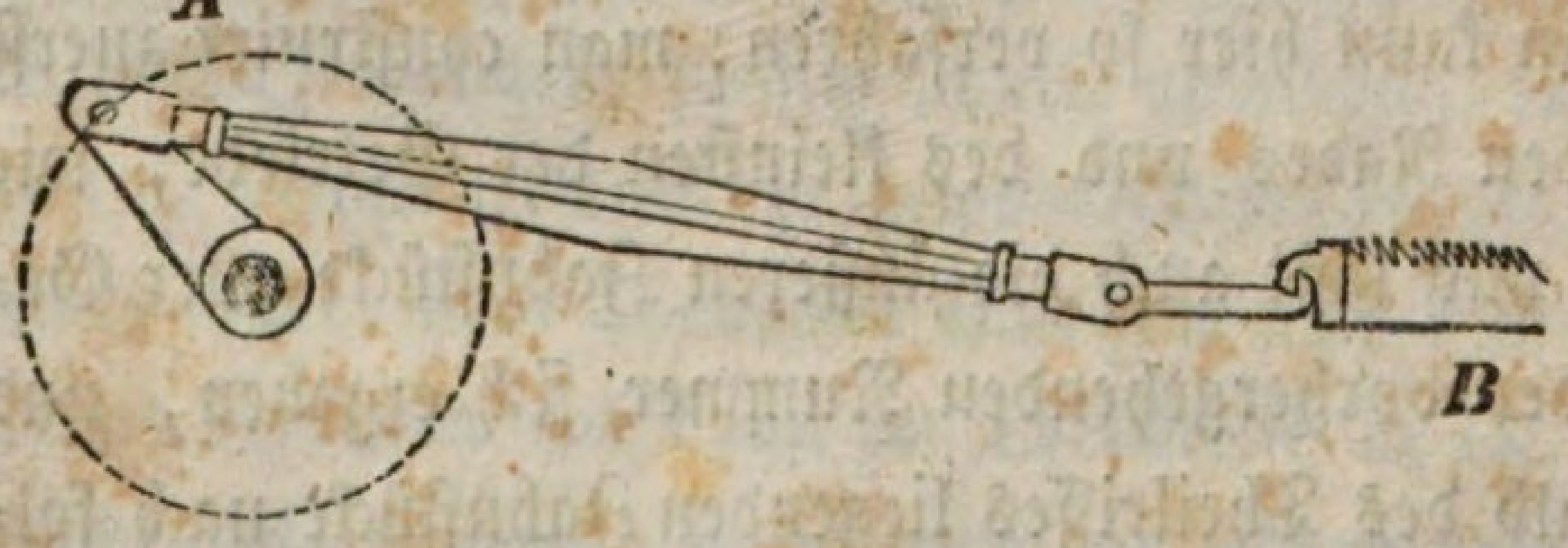


Es sey wieder AH der Halbmesser des treibenden, und BH der Halbmesser des Getriebs, FH der Halbmesser des kleinsten der Getriebe, für welches die innern Zahnstücke nach dem Radius abgeschnitten werden. DH und CH seyen gleich große Bogen, und DE die bereits bestimmte Krümmung des Zahns des treibenden Rades. Dann muß die Krümmung des inneren Zahnstücks des Getriebes B von C durch E gehen, und in E den Zahn DE berühren. Die Linie DE ist die, welche die Mathematiker eine Hypocykloide nennen, und welche ein Punct des Kreises FH beschreibt, wenn dieser Kreis im Innern des Kreises CH fortrollt.

183. Die Dicke der Zähne und ihre Breite wird von dem Drucke bestimmt, welchen sie fortpflanzen sollen; aus ihr, mit dem nothwendigen Spielraume zwischen beiden Zähnen, ergibt sich die Größe der Theilung der Schrift, und damit die Zahl der Zähne. Die Höhe der Zähne in der Richtung des Halbmessers des Rades bestimmt man gewöhnlich so, daß von dem Berührungspuncte beider Theilkreise um die Schrift vor- und rückwärts der Eingriff stattfindet, wenn dieß nicht zu hohe Zähne gibt, was man bei der Construction leicht sieht. Hierbei sind dann immer zwei Paar Zähne im Eingriffe.

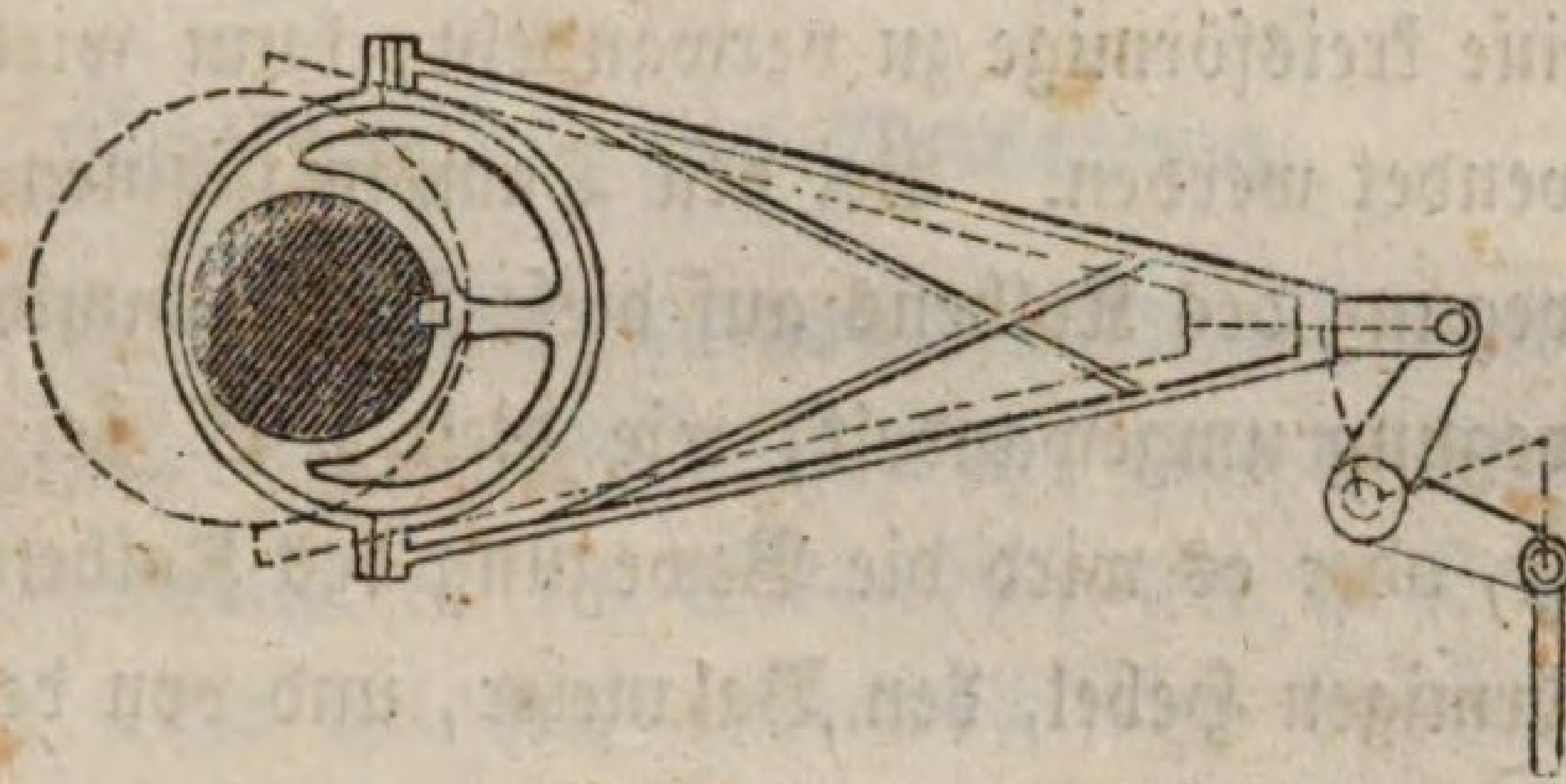
184. Um aus einer kreisförmigen Bewegung eine geradlinige zu erhalten, gebraucht man am häufigsten den Krummzapfen, die Kurbel, mit der Kurbelstange, wie dieß z. B. bei den Sägmühlen der Fall ist. (Fig. 83.)

Fig. 83.



Die Zeichnung zeigt deutlich, wie aus der drehenden Bewegung des Rades A die hin- und hergehende der Säge B erhalten wird; nur muß hinzugefügt werden, daß die Säge in einem Gatter eingespannt ist, das in einem Rahmen läuft, und damit verhindert ist, nach der Seite auszuweichen.

Fig. 84.



Den Krummzapfen ersetzt man oft durch die excentrische Scheibe, bei welcher man zugleich durch passende Anordnung der Krümmung dieser Scheibe es in der Hand hat, die Geschwindigkeit der geradlinigen Bewegung beliebig zu- und abnehmen zu lassen. Die Zeichnung stellt ein Excentrik vor, wie es bei Dampfmaschinen zur Steuerung gebraucht wird. Man sieht leicht ein, daß man bei einem solchen Excentrik auch eine geradlinige Bewegung, die von mehreren Stillständen unterbrochen ist, hervorbringen kann.

Excentrische Scheiben muß man nur dort anwenden, wo der Druck, der fortgepflanzt werden soll, nicht bedeutend ist. Dieser Druck bringt Reibung am Umfange des Excentriks hervor, und der Weg dieser Reibung ist bei einer Umdrehung der ganze Umfang des Excentriks, also die Arbeit, welche durch ihre Ueberwindung verloren geht, sehr groß, wenn die Reibung bedeutend ist.

185. Zu den Mitteln, eine kreisförmige Bewegung in eine geradlinige zu verwandeln, gehören auch die Hebedaumen, welche man zum Heben von Hämmern, Stämpeln und dergl. verwendet.

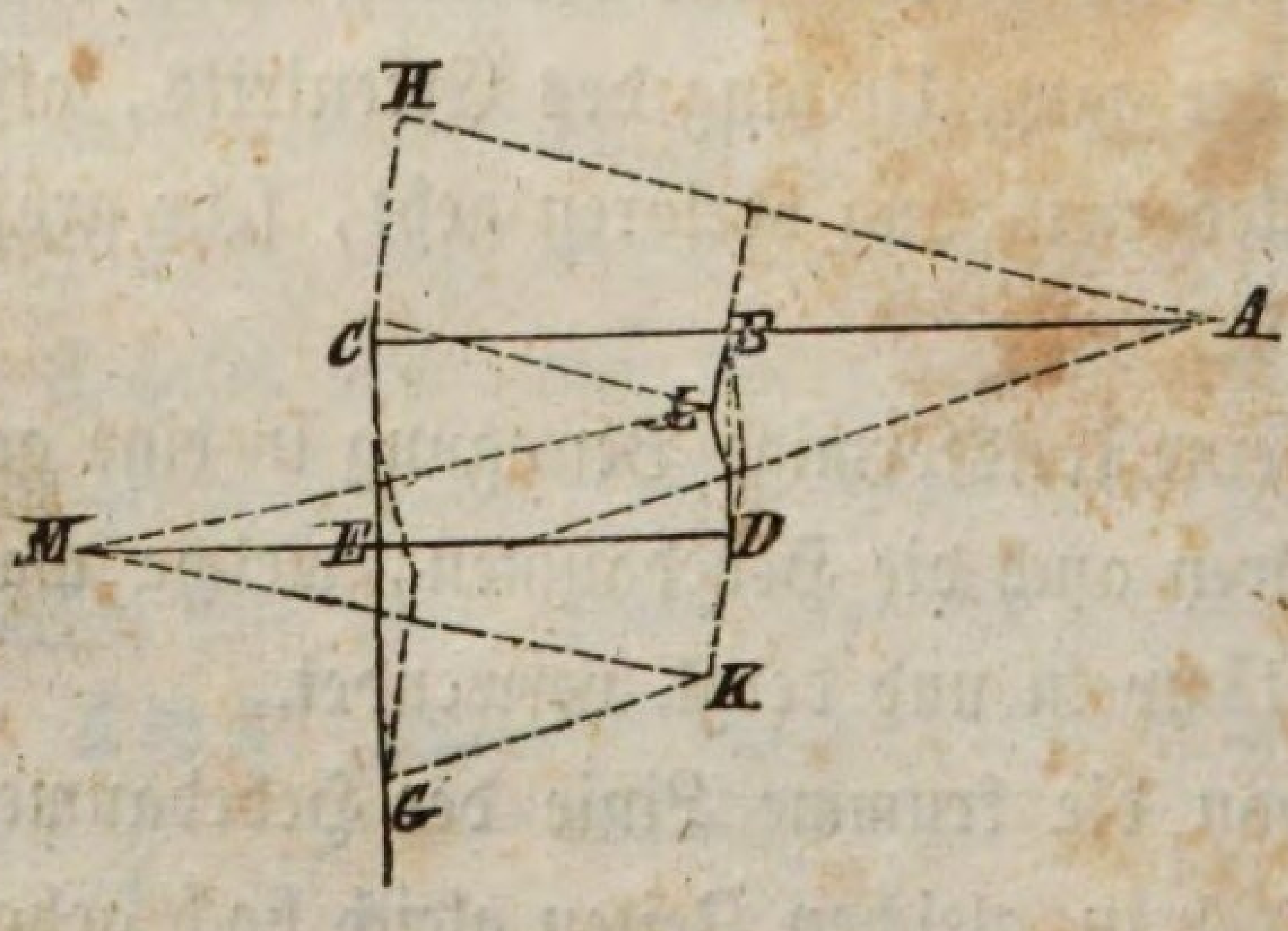
Auch hierbei construirt man die krumme Linie der Hebedaumen gewöhnlich so, daß der Stämpel in gleichen Zeiten gleich hoch gehoben wird, oder bei seinem Steigen sich gleichförmig bewegt. Diese Bedingung, welche man, soviel ich weiß, überall aufstellt, ist gleichwohl hier ganz unwesentlich, ja mit großem Nachtheile für die Maschine verbunden. Es muß nämlich dabei im ersten Augenblicke des Angriffs dem Stämpel die Geschwindigkeit ertheilt werden, mit der er

sich nachher bewegen soll, was nur durch einen Stoß geschehen kann. Viel zweckmäßiger ist es, solche Hebedaumen so zu formen, daß der gehobene Stämpel eine gleichförmig beschleunigte Bewegung annimmt, wodurch der Druck auf den Daumen vom Anfange bis zum Ende des Hubs gleich groß wird.

186. Um eine geradlinige, hin- und hergehende Bewegung in eine kreisförmige zu verwandeln, kann wieder der Krummzapfen verwendet werden. Bei den Dampfmaschinen wird die geradlinige Bewegung des Kolbens auf diese Weise unmittelbar in kreisförmige Bewegung umgewandelt, wie dieß z. B. bei den Locomotiven der Fall ist, oder es wird die Bewegung des Kolbens zuerst auf einen gleichförmigen Hebel, den Balancier, und von dem andern Ende dieses Hebels mit Hilfe einer Kurbelstange auf einen Krummzapfen übertragen. Der Balancier dient dann bei den Watt'schen Maschinen zugleich zur Bewegung der Kolbenstangen der Luftpumpe, der Heiß- und der Kalt-Wasserpumpen. (Siehe Nro. 152.)

Die geradlinige Bewegung des Kolbens schließt sich nicht unmittelbar an den Kreisbogen an, welchen das Ende des Balanciers beschreibt; man hat zur Vermittlung dieser beiden Bewegungen verschiedene Vorrichtungen angewendet, unter welchen das verbreitetste das Watt'sche Parallelogramm ist. A ist der Mittelpunct des Balanciers, sein Drehpunct; AC der halbe Balancier. In C und B hängen, um diese Puncte drehbar, die Stangen BD und CE herab, welche unten durch die Querstange ED verbunden, ein verschiebbares Parallelogramm EDBC bilden. In E hängt die Kolbenstange, welche sich vertical auf- und abwärts bewegt, wobei der Punct E von G bis nach N kommt, und das Parallelogramm mit dem Balancier die in der Zeichnung angegebenen Lagen und Formen annehmen. Damit dieses erfolge, also namentlich der

Fig. 85.



Punct D nach einander in die drei Orte K, D, L komme, wird dieser Punct D durch einen Hebel DM geführt, der sich um den fixen Punct M dreht; man findet diesen Punct M, wenn man den Mittelpunct des durch die drei Puncte KDL gehenden Kreises aufsucht.

In D hängt bei den Watt'schen Dampfmaschinen die Kolbenstange der Luftpumpe.

§. 2. Von den Regulatoren der Bewegung.

187. Es ist schon oben (Nro. 123.) darauf aufmerksam gemacht worden, daß es bei Wasserhebmaschinen oft vorkommt, daß bei jedem neuen Hube die ganze Wassermasse in der Steigröhre neu in Bewegung gesetzt werden müsse, wozu ein nicht unbeträchtlicher Kraftaufwand erfordert wird. Ist z. B. der Querschnitt der Steigröhre einer Pumpe oder eines hydraulischen Widders $^1/_4$ Quadratfuß groß, und die Steigröhre 80 Fuß lang, so enthält sie gefüllt 20 Kubikfuß oder $20 \times 54 = 1080$ Pfd. Wasser. Nach einer gewöhnlich angewendeten Regel erhält der Kolben (bei einer Pumpe) einen etwa zweimal größern Querschnitt, als die Steigröhre, also hier $^1/_2$ Quadratfuß, und eine Geschwindigkeit von etwa 1 Fuß höchstens. Die Geschwindigkeit, welche das Wasser in der Steigröhre bei jedem Hube neu annehmen muß, wird also 2 Fuß seyn, wozu die Geschwindigkeitshöhe (Nro. 17.) $\frac{2 \times 2}{64} = {}^1/_{16}$ Fuß gehört. Der Kraftaufwand, welcher allein erfordert wird, um dem Wasser in der Steigröhre (1080 Pfd.) die Geschwindigkeit 2 Fuß zu ertheilen, ist also eben so groß, als ob diese 1080 Pfd. $^1/_{16}$ Fuß hoch gehoben werden sollen, also gleich $1080 \times {}^1/_{16} = 67$ Fußpfund.

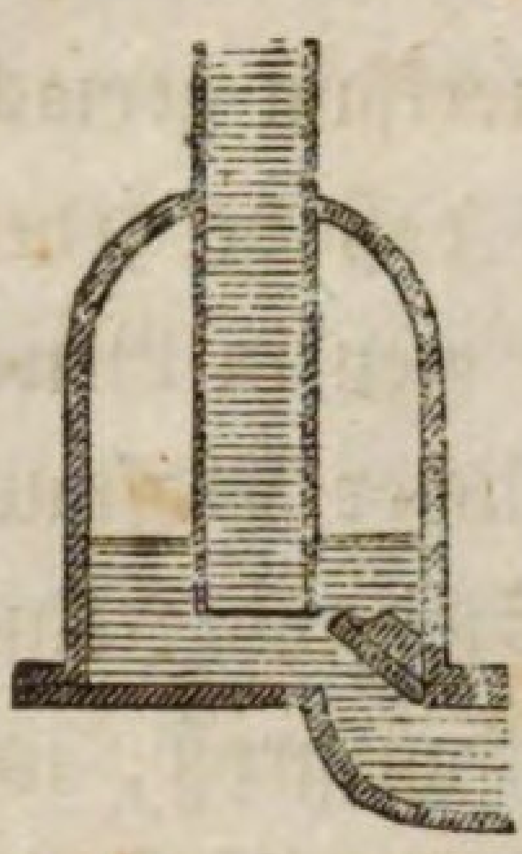
Ist nun die Größe des Kolbenhubes z. B. 2 Fuß, so wird ein solcher in 2 Secunden erfolgen, und in dieser Zeit werden $2 \times {}^1/_2$ oder 1 Kubikfuß Wasser auf die Förderungshöhe z. B. 10 Fuß gehoben werden. Der hierzu erforderliche Kraftaufwand ist $54 \times 10 = 540$ Fußpfund, welcher aber wegen des Kraftaufwandes zur jedesmaligen in Bewegungsetzung der Wassersäule auf $540 + 67 = 607$ Fußpfund steigt. Man sieht leicht, daß diese Erhöhung des Kraftauf-

wandes sehr bedeutend wird, wenn die Steigröhre sehr lang wird, und wenn das Wasser in ihr eine große Geschwindigkeit annehmen muß, was bei engen Röhren der Fall ist.

Um diesen Kraftaufwand zu umgehen, und um zugleich den Ausfluß des Wassers andauernd und regelmäßiger zu machen, was namentlich bei Spritzen verlangt wird, bringt man einen **Windkessel** an.

188. Ein Windkessel besteht aus einem luftdicht geschlossenen

Fig. 86.



Gefäße, das mit Luft erfüllt ist, in dessen unteren Theil das Wasser aus der Pumpe eintritt, und aus dessen unterm Ende auch die Steigröhre das Wasser fortführt. Sobald das Wasser in dem Windkessel so weit gestiegen ist, daß es die untere Oeffnung der Steigröhre ganz bedeckt, so kann die Luft bei weiterem Einpumpen von Wasser durch die Steigröhre nicht mehr entweichen, sie wird durch das Einpumpen zusammengedrückt, und drückt selbst wieder in dem Maße auf das Wasser zurück, als sie nach und nach einen kleineren Raum in dem Windkessel einnimmt, und dieses Zusammendrücken der Luft wird so lange fortgehen, bis endlich die Luft durch ihre gesteigerte Elasticität ebensoviel Wasser durch die Steigröhre forttreibt, als in den Windkessel gepumpt wird.

Nehmen wir an, in dem Beispiele der vorhergehenden Nummer sey die Pumpe einfach wirkend, d. h. sie hebe nur bei der Bewegung des Kolbens in einer Richtung, und der Kolben gehe leer zurück. Die Geschwindigkeit des Wassers in der Steigröhre muß dann nur 1 Fuß seyn, weil das Wasser jetzt die doppelte Zeit hat, um durch die Steigröhre zu fließen. Zu 1 Fuß Geschwindigkeit gehört die Fallhöhe $^1/_{64}$ Fuß, und die Luft in dem Windkessel darf also nur so zusammengedrückt seyn, um dem Wasserdruck von dieser Höhe $^1/_{64}$ Fuß, und der Förderungshöhe 10 Fuß, zusammen $10^1/_{64}$ Fuß, das Gleichgewicht zu halten. Der Kraftaufwand während eines Kolbenhubs ist jetzt $54 \times 10 = 540$ Fußpfund, wie oben, und noch der, welcher zur Gewältigung des Drucks einer $^1/_{64}$ Fuß hohen Wassersäule auf die Kolbenfläche ($^1/_2$ Quadratfuß) während des Kolbenhubs (2′ Höhe)

erfordert wird. Eine Wassersäule von $\frac{1}{2}$ Quadratfuß Querschnitt und $\frac{1}{64}$ Fuß Höhe wiegt aber $\frac{1}{2} \times \frac{1}{64} \times 54 = \frac{54}{128}$ Pfd., und die Erhebung dieses Gewichtes auf 2 Fuß Höhe ist die Arbeit $\frac{54}{128} \times 2 = \frac{54}{64}$ oder nicht ganz 1 Fußpfund.

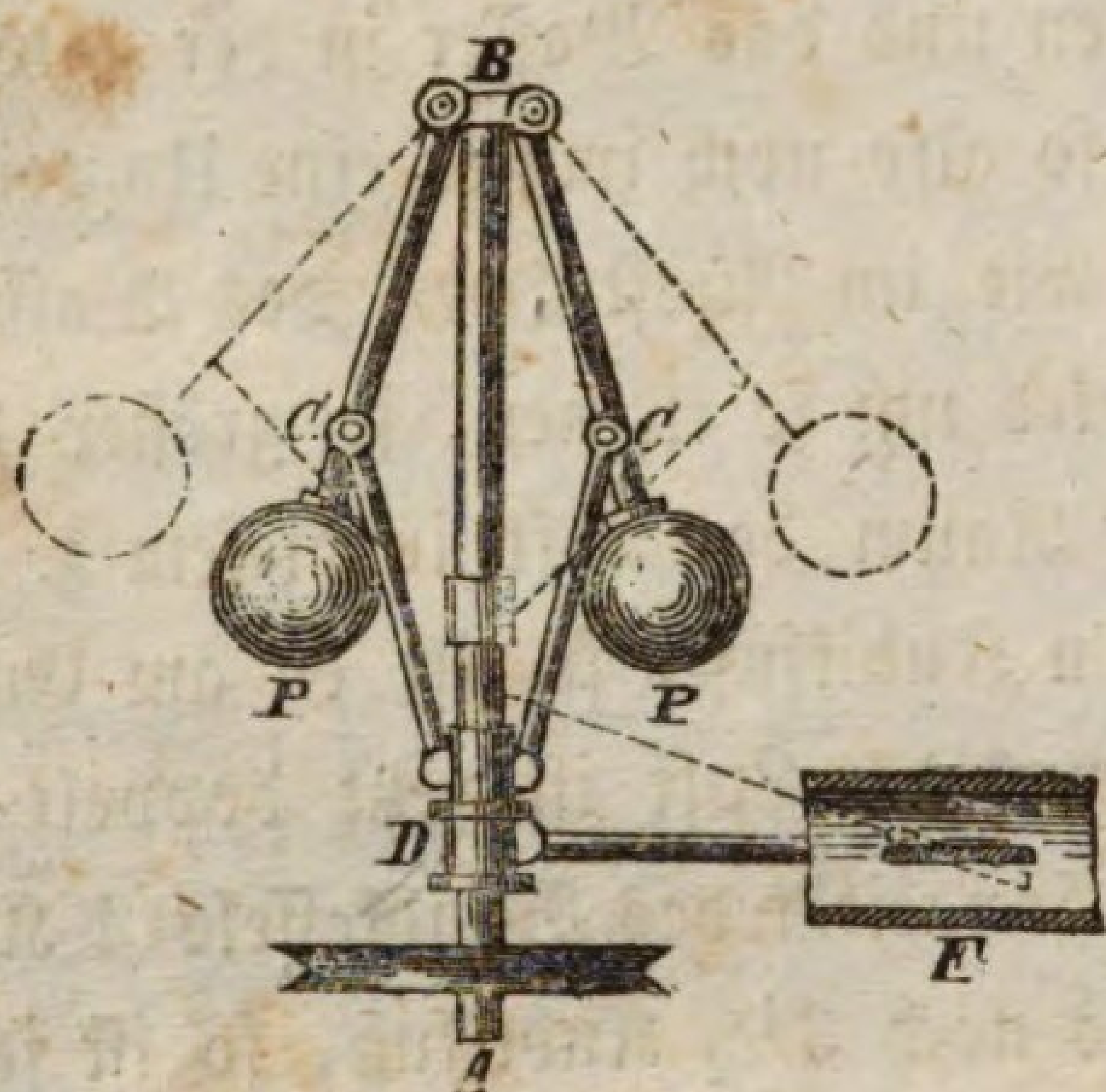
Durch Anwendung eines Windkessels erspart man also bei jedem Kolbenhube den Kraftaufwand 67 weniger 1, d. i. 66 Fußpfund.

189. Während des Kolbenhubs wird in unserm Beispiele 1 Kubikfuß Wasser in den Windkessel gebracht; $\frac{1}{2}$ Kubikfuß tritt aber in dieser Zeit nur aus, und der andere halbe erst während des Niedergangs des Kolbens. Es wird also die Luft in dem Windkessel am Ende des Kolbenhubs $\frac{1}{2}$ Kubikfuß Raum weniger einnehmen, als im Anfange, folglich stärker auf den Kolben und das Wasser in der Steigröhre drücken, als im Anfange, und so also noch immer eine Ungleichförmigkeit im Gange der Maschine wie im Ausströmen des Wassers bleiben. Diese Ungleichförmigkeit wird um so kleiner, je größer der Windkessel genommen wird. Ist der Raum der Luft in diesem z. B. im Anfange des Kolbenhubs nur e i n Kubikfuß, so ist er am Ende nur noch $\frac{1}{2}$ Kubikfuß, und der Druck der Luft ist jetzt doppelt so groß, als im Anfange. Ist aber die Capacität des Windkessels 4 Kubikfuß, und am Ende des Kolbenhubs noch $3\frac{1}{2}$ Kubikfuß, so ist jetzt der Druck der Luft nur $\frac{4}{3\frac{1}{2}} = \frac{8}{7}$mal so groß, als im Anfange, was eine schon sehr unbedeutende Vermehrung des Drucks ist.

190. Bei Dampfmaschinen kann durch stärkere Feuerung eine schnellere Dampfbildung und damit ein schnelleres Gehen der Maschine erfolgen; ebenso kann bei Wasserrädern, auf welche man im Anfange der Bewegung viel Wasser fallen läßt, die Bewegung später zu schnell werden, oder es kann dieser schnellere Gang der Maschine durch eine länger dauernde Abnahme des Widerstandes eintreten, wie dieß z. B. bei Walzwerken vorkommt, bei denen der Widerstand nur vorhanden ist, so lange das zu walzende Eisen unter den Walzen befindlich ist, aber in der Zwischenzeit von dem Durchgange des einen Stückes bis zum Einbringen des nächsten, läuft die Maschine leer, die Kraft beschleunigt die Bewegung, und die Geschwindigkeit kann einen Grad

erreichen, der theils der Maschine gefährlich seyn, theils das Walzen gefahrbringend für die Arbeiter machen kann. In solchen Fällen muß der Heizer des Dampfkessels oder ein Wärter des Wasserrades den Gang der Maschine verlangsamen, was durch Abbrechen des Feuers, durch Oeffnen der Heizthüre, durch Verengung des Schornsteins, besonders aber durch Zudrehen der Dampfklappe bei den Dampfmaschinen und durch theilweise Schließung der Schütze, also Verminderung der Wassermenge bei den Wasserrädern, geschehen kann. Diese Aufsicht über den Gang der Maschinen kann man aber auch durch einen Maschinentheil, das Centrifugalpendel, ausführen lassen. Dieses besteht aus einer verticalen Stange AB, mit welcher oben zwei Stängchen durch Charniere verbunden sind, welche unten Gewichte P, P tragen. Diese Stange AB wird durch Rollen in eine drehende Bewegung versetzt, welche an Geschwindigkeit zunimmt, wie die Bewegung der Maschine selbst schneller wird. Sowie die Drehung schneller erfolgt, wächst die Centrifugalkraft (Nro. 31.) der Kugeln, sie entfernen sich weiter von der Drehungsachse, indem sich die Stängchen BP um B drehen. Damit werden dann auch die beiden Stängchen CD und durch sie die Hülse D, welche sich über die Stange AB verschiebt, gehoben. Die Hebung der Hülse D dreht den Hebel DF, durch welchen dann entweder eine Klappe in dem Rohr, das den Dampf in die Maschine leitet, oder die Schütze des Wasserrades zugedreht wird.

Fig. 87.



Weil zur Drehung des Hebels DF eine gewisse Größe der Kraft gehört, so erfolgt diese erst, wenn die Centrifugalkraft die entsprechende Größe, also die Umdrehungsgeschwindigkeit der Stange AB und damit die Geschwindigkeit des Gangs der Maschine selbst, eine bestimmte und gewünschte Größe erreicht hat.

191. Denselben Zweck, den das Centrifugalpendel hat, erfüllt

auch der bei kleineren Maschinen angebrachte Windfang, den man besonders dort angebracht sieht, wo die Bewegung durch ein Gewicht oder eine Uhrfeder hervorgebracht wird. Ein solcher Windfang besteht gewöhnlich aus 2 oder 4 Windflügeln, welche um eine gemeinschaftliche Achse befestigt sind, auf welche von der zu regulirenden Maschine eine sehr schnelle Umdrehung übertragen wird.

Die bewegende Kraft setzt die Maschine in Bewegung, welche im Anfange bei geringem Widerstande immer schneller wird. Bei der damit auch zunehmenden Geschwindigkeit des Windfanges wächst der Widerstand der Luft gegen die Bewegung der Flügel in ihr immer mehr, und bei einer bestimmten Geschwindigkeit wird Gleichgewicht zwischen der bewegenden Kraft einerseits, der zu gewältigenden Last und dem Widerstande, den die Luft der Bewegung des Windfangs entgegensetzt, andererseits eintreten, und also nunmehr die Maschine sich mit dieser Geschwindigkeit fortbewegen. Man sieht leicht ein, daß bei dieser Regelung der Bewegung ein bedeutender Widerstand eingeführt, also die bewegende Kraft viel größer seyn muß, als sie der zu leistenden Arbeit nach seyn müßte; man wird also diesen Regulator nur anwenden, wo es auf eine Krafterspárniß nicht ankommt.

Man hat das Princip, einen mit der Geschwindigkeit zunehmenden Widerstand einzuführen, noch auf mancherlei Weise zur Regelung des Gangs der Maschinen angewendet, wie z. B. bei Lampen, bei denen das Oel durch eine Spiralfeder und einen Kolben in den Brenner gedrückt wird. Läßt man das Oel durch eine sehr dünne Röhre aus dem Oelbehälter in den Brenner treten, so daß es in dieser Röhre mit großer Geschwindigkeit fließen muß, so wird es ziemlich gleichmäßig in den Brenner sich ergießen.

192. Die Regulatoren der beiden letzten Nummern bezwecken, soweit sie drehende Bewegung betreffen, die Gleichheit der Zahl der Umläufe in derselben Zeit; damit aber auch der einzelne Umlauf gleichförmig geschehe, dazu bedient man sich der Schwungräder, von denen schon in Nro. 23. die Rede war.

Gewöhnlich dienen Schwungräder dazu, die Ungleichheiten des Gangs der Maschine bei einem Umgange aufzuheben, was zwar nie

vollständig, aber doch theilweise geschehen kann. Das Gewicht des Schwungrades, oder vielmehr seine lebendige Kraft, bemißt man hierbei so, daß die Ungleichheit bis zu dem gewünschten Grade aufgehoben wird. Hat man z. B. einen Widerstand, welcher nur während eines halben Umgangs wirkt, und wobei die Maschine während des andern halben Umlaufs leer, d. h. nur von der Kraft ohne Widerstand getrieben, geht, so ergibt sich die Bestimmung des Schwungrades auf folgende Weise: Es werde die Maschine durch 20 Pferdskräfte bewegt, und die Welle, auf der das Schwungrad angebracht werden soll, mache 60 Umläufe in einer Minute; es sey dabei von der Lokalität geboten, dem Schwungrade nicht mehr als 14 Fuß Durchmesser zu geben.

Der Umfang des Schwungrades ist dann $\frac{14 \times 22}{7} = 44$ Fuß, und weil das Rad in einer Secunde sich einmal umdreht, so ist auch 44 Fuß die mittlere Geschwindigkeit des Umfanges. Dazu gehört die Fallhöhe $\frac{44 \times 44}{64} = \frac{121}{4}$ Fuß.

Beim Anfange des halben Umlaufes, während dessen der Widerstand wirkt, wird die Geschwindigkeit am größten seyn und abnehmen, bis nach der halben Umdrehung der Widerstand aufhört, und nun die Kraft, allein wirkend, die Geschwindigkeit erhöht, was nach Vollendung dieser zweiten halben Umdrehung bis zur Erreichung der ursprünglichen Geschwindigkeit gehen muß, wenn der Umlauf nun in derselben Weise sich wiederholen soll.

Die Arbeit, welche die bewegende Kraft in 1 Secunde liefert, ist $20 \times 500 = 10000$ Fußpfund, oder in der halben Secunde, während der sie allein wirkt, 5000 Fußpfund, und diese Arbeit wird, weil kein Widerstand vorhanden ist, allein in Vermehrung der Geschwindigkeit oder in Vermehrung der lebendigen Kraft der bewegten Masse bestehen; welche Vermehrung dann in der zweiten Hälfte des Umlaufs wieder aufgezehrt wird.

Das Fabrikat, das dargestellt werden soll, bedingt, wie weit die Ungleichheit der Bewegung gehen darf; grobe Gespinnste erlauben z. B. eine viel größere, als die feineren Garne, die von höheren Nummern. Nehmen wir nun an, es dürfe die Geschwindigkeit der

Maschine sich um $^1/_{11}$ von ihrem mittleren Gange während eines Umlaufes entfernen, also in unserm Beispiele von 40 bis 48 Fuß steigen, so wird die Fallhöhe, die zu der jedesmaligen Geschwindigkeit gehört, von 25 Fuß auf 36 Fuß steigen, oder die lebendige Kraft von jedem Pfund Masse in dem Schwungringe wird von 25 Fußpfund auf 36 Fußpfund, oder um 11 Fußpfunde erhöht werden. Diese Erhöhung geschieht aber durch den Kraftaufwand 5000 Fußpfund, es müssen also daran $^{5000}/_{11}$ oder 454 Pfunde Theil nehmen, oder so groß muß das Gewicht des Schwungringes seyn, wenn man den Einfluß aller andern Massen, welche sich mitbewegen, außer Acht läßt. Das wäre ein sehr leichtes Schwungrad, aber auch eine sehr große Ungleichheit der Bewegung, sie beträgt mehr als $^1/_6$ der mittleren Geschwindigkeit.

Sollte die Geschwindigkeit nur von 42 Fuß bis 46 Fuß schwanken, wozu die Fallhöhen $^{441}/_{16}$ und $^{529}/_{16}$ Fuß gehören, so müßte die lebendige Kraft von jedem Pfund Masse des Schwungrings beim halben Umlaufe um $^{88}/_{16} = {}^{11}/_2$ Fußpfund erhöht werden, also das Schwungrad doppelt so schwer seyn, als oben.

193. Hat das Schwungrad nur die Hälfte des oben angenommenen Durchmessers, oder dreht es sich bei gleichem Durchmesser nur halb so schnell, so ist die Geschwindigkeit des Umfangs nur noch halb so groß, als oben; die Fallhöhe, welche zu dieser Geschwindigkeit gehört, ist dann nur $^1/_4$ der früheren, und der Schwungring wird daher 4mal so schwer seyn müssen, als nach der obigen Rechnung.

Aus diesem ergibt sich, daß man das Schwungrad immer mit dem Theile der Maschine in Verbindung bringen müsse, welcher die größte Geschwindigkeit hat, weil man dort das leichteste Schwungrad erhält, was wegen der Anschaffungskosten sowohl, als wegen der Reibung, die mit dem Gewichte der Maschine zunimmt, wünschenswerth ist. Doch treten hierbei auch noch andere Betrachtungen ein, unter welchen besonders die hervorragt, daß man gerne das Schwungrad dem Theile, an dem der Widerstand wirkt, so nahe als möglich bringt, was um so nothwendiger ist, je mehr stoßartig dieser Widerstand ist. Diese Stöße werden durch das Schwungrad gemildert; steht aber das Schwungrad mit dem arbeitenden Theil der Maschine erst durch ein Zwischengeschirr

in Verbindung, so muß dieses auf der einen Seite den ganzen Stoß, auf der andern die dagegen wirkende lebendige Kraft des Schwungrades aushalten; es wird sehr bald Noth leiden.

194. Man gebraucht die an der Bewegung der Maschine Theil nehmenden Massen, Schwungräder, Schwungkugeln, auch dort, wo man einen, kürzere Zeit wirkenden Widerstand durch eine oft viel kleinere Kraft überwinden muß.

Es wurde hierauf schon in Nro. 23. hingedeutet, hier noch ein specielles Beispiel. Bei einer Probe, welche ich bei dem Walzwerke in Albbruck anstellte, war der Druck auf das zu walzende Eisen so groß, daß das ganze Walzwerk still stand, nachdem der Eisenstab auf 10 Fuß Länge durchgelaufen war. Vor dem Einbringen des Eisens liefen die Walzen 48mal in einer Minute um.

Durch das zu walzende Eisen werden die beiden Walzen fest in ihre Lager gedrückt, und die dort aus diesem Drucke entstehende Reibung ist der Widerstand, der zu überwinden ist, und welcher in der eben erwähnten Probe die ganze Maschine zum Stillstehen brachte. Wir wollen versuchen, die Größe dieses Widerstandes zu berechnen.

Das Schwungrad, das auf der Achse der untern Walze sitzt, wiegt 60 Centner (der Ring nämlich), und hat 14 Fuß Durchmesser. Die Geschwindigkeit seines Umfangs bei 40 Umläufen in der Secunde ist 29 Fuß, wozu die Fallhöhe $^{841}/_{64}$ Fuß gehört. Die lebendige Kraft dieses Schwungringes war also, ehe das Walzen anfing, $6000 \times {}^{84}/_{64} = 78800$ Fußpfund, und diese lebendige Kraft wurde während des Walzens des 10 Fuß langen Stabes durch die Reibung ganz aufgezehrt.

Der Durchmesser der Zapfen der Walzen ist 78 Linien, der Durchmesser der Walzen 143 Linien; beim Durchgange eines 10 Fuß langen Stabes legt ein Punct der Walzenoberfläche 10 Fuß, also ein Punct in einer der Zapfenoberflächen $^{78}/_{143} \times 10 = 5{,}45$ Fuß zurück, und dieß ist also auch der Weg der Reibung, bei welchem die Reibung die lebendige Kraft der bewegten Masse, 78800 Fußpfund, aufzehrte. Die Reibung betrug daher $\frac{78800}{5{,}45} = 14500$ Pfd., oder für jeden der 4 Zapfen 3600 Pfd. nahe. Der Druck, der diese Rei-

bung hervorbrachte, mußte wenigstens das 10fache, also auf jeden Zapfen 36000 Pfd. betragen. Die Zapfen hätten noch mehr aushalten können.

Später ließ ich mit dieser Maschine noch ein Schwungrad verbinden, dessen Kranz beiläufig 26 Centner wiegt, das zwei Umläufe macht, wenn das erste einen, und dabei 10 Fuß Durchmesser hat. Bei 40 Umläufen des ältern Schwungrades macht das neue 80 in der Minute, und die Geschwindigkeit seines Umfangs ist $^{80}/_{60} \times 10 \times {}^{22}/_{7} = 42$ Fuß beinahe; also seine lebendige Kraft $2600 \times \frac{42 \times 42}{64} = 72000$ Fußpfund, so daß jetzt beide Schwungräder zusammen nahe die doppelte lebendige Kraft haben, als früher das eine, und damit wird man also auch einen Stab von beinahe der doppelten Länge und demselben Drucke, wie früher, walzen können.

In der Probe oben ist die Reibung in der That noch viel größer gewesen, weil erstlich noch mehr Massen, nicht nur die des Schwungringes zum Stillstehen gebracht wurden, und weil ja während des Walzens immer auch noch die bewegende Kraft wirkte. Diese betrug ungefähr 25 Pferdskräfte, und das Stillstehen erfolgte in beiläufig 6 Secunden. Die Arbeit von 25 Pferdskräften, oder nach Abzug von 5 Pferdskräften für die Reibung in der übrigen Maschine, von 20 Pferdskräften in 6 Secunden beträgt $20 \times 500 \times 6 = 60000$ Fußpfund, und auch diese wurden durch die Reibung aufgezehrt. Damit steigt die Reibung, welche in den Zapfenlagern der Walzen bei dem obigen Versuch stattfand, auf 25500 Pfd. oder für jeden der 4 Zapfen auf etwas über 6000 Pfd.

Sollte dieser Reibung durch die Kraft der bewegenden Maschine Gleichgewicht gehalten werden, so müßte die Maschine z. B. bei 20 Umläufen in einer Minute diese Reibung durch den Weg 0,81 in der Secunde fortzuführen, oder die Arbeit $25500 \times 0{,}81 = 20655$ Fußpfund oder 41 Pferdskräfte zu leisten im Stande seyn, während man jetzt, bei der Unterbrechung der Arbeit und bei Anwendung der Schwungräder, nur 25 Pferdskräfte braucht.

Sechstes Buch.

Die Festigkeit und Standfähigkeit.

195. Hat man eine Construction entworfen, wonach man die gewünschte Bewegung erhalten wird, so bleibt noch die Aufgabe übrig, die Stärke aller einzelnen Theile so zu bemessen, daß sie den Druck oder die Stöße, denen sie ausgesetzt sind, aushalten können, ohne zu brechen, und daß diese Theile doch nicht zu stark genommen werden, was eine kostspieligere Construction geben, was den Druck auf die Unterlage und damit die Fundamentirung vertheuern, endlich bei Maschinen die Reibung vergrößern, also eine Kraftverschwendung mit sich bringen würde. Der Mechaniker hat also darauf zu sehen, daß er jeden einzelnen Theil zwar fest genug macht, daß er aber dabei das Material möglichst spart, und daß er dann die ganze Construction so aufstellt, daß sie unwandelbar die gehörige Standfähigkeit hat. Wir betrachten zuerst die Festigkeit der Materialien und Constructionen, dann die Standfähigkeit oder Stabilität.

§. 1. Von der Festigkeit der Materialien.

196. Wird an einem Drathe, einem Stabe von Holz ein Gewicht aufgehängt, so zeigen sich folgende Erscheinungen: Ist das Gewicht nicht zu groß, so verlängert sich der Drath, das Holz etwas, und trägt dann das Gewicht; wird das Gewicht größer, so tritt eine neue Verlängerung ein, bis endlich bei einem hinreichend großen Gewichte der Drath oder das Holz zerreißt. Man nennt die Kraft, mit der ein Stab dem Zerreißen widersteht, seine absolute Festigkeit, und mißt diese durch das Gewicht, das er gerade noch tragen kann, ohne zu zerreißen. So kann man an einen Eisendrath von einer Quadratlinie Querschnitt ungefähr 600 Pfd. hängen, bei einer größern Belastung wird er aber zerreißen. 600 Pfd. ist also die absolute Festigkeit dieses Drathes. Ein Drath von ganz gleicher Art und

zwei Quadratlinien Querschnitt wird nun offenbar 2 × 600 Pfd. tragen können, oder die absolute Festigkeit 1200 Pfd. haben.

197. Man hat sehr viele Erfahrungen über die absolute Festigkeit der verschiedenen, bei Bauten vorkommenden Stoffe gesammelt; für die Ausführung gibt man aber einer Stange niemals so viel zu tragen, als ihre absolute Festigkeit beträgt, sondern nur etwa $1/_6$ derselben bei Metallen und $1/_{10}$ bei Holz, um auf diese Weise gesichert zu seyn, daß schlechte Stellen in den Metallen, und die nach und nach erfolgende Aenderung im Holze keinen Nachtheil bringen. Wo man aber besonders sorgfältig verfahren und alles zu verwendende Material (Metall) vor der Anwendung probiren kann, da geht man weiter, und läßt einen Stab auch selbst $1/_3$ seiner absoluten Festigkeit tragen.

Man findet die Gewichte, mit denen man einen Stab von bestimmter Art mit Sicherheit belasten kann, unter anderm in „Morin's Hülfsbuch des praktischen Mechanikers" S. 244. der zweiten Auflage zusammengestellt. Die Anwendung dieser oder einer andern ähnlichen Tafel ist sehr leicht.

198. Steht eine Stange aufrecht, und legt man oben auf sie Gewichte, so wird sie zuerst sich etwas verkürzen, dann aber, wenn sie lange genug ist, sich nach der schwächsten Seite hin ausbiegen und zerbrechen, oder wenn sie nur kurz gegen ihre Dicke ist, ohne sich zu biegen, zersplittern. Die Kraft, mit der sie diesem Zusammendrücken und Zersplittern widersteht, nennt man ihre rückwirkende Festigkeit.

Bei Hölzern tritt das Aufspalten ohne Biegung noch ein, wenn sie nicht 10mal länger sind, als dick.

Solange eine Biegung nicht eintritt, ist die rückwirkende Festigkeit bei Holz etwa halb so groß, als die absolute, und bei Metallen der absoluten gleich. Diesen Unterschied kann man sich erklären, wenn man die faserige Struktur des Holzes bedenkt. Beim Zusammendrücken des Holzes treten diese Fasern als spitze Keile zwischen einander, und treiben so das Holz auseinander, was in dieser Weise bei Metallen nicht der Fall ist.

199. Die rückwirkende Festigkeit wird besonders bei den Unter=

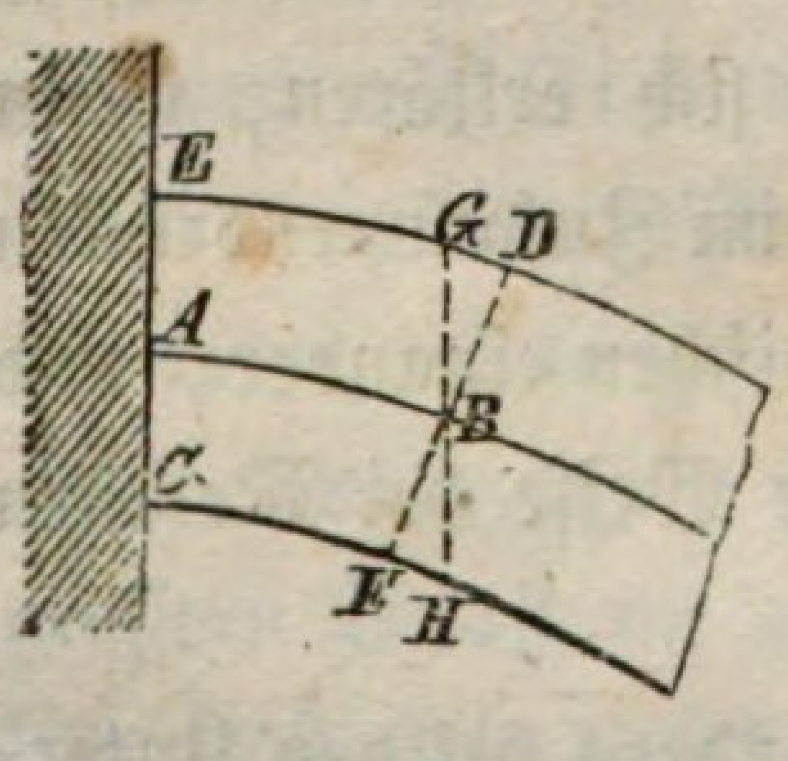
lagen der Gebäude in Anspruch genommen. Diese werden auf Fundamentmauern, auf eingerammte Pfähle, auf ein Lager von Mörtel (Beton) gegründet, welchen man Querschnitte geben muß, die groß genug sind, um diese Unterlagen bei den auf ihnen ruhenden Lasten vor dem Zerdrücken sicher zu stellen. So rechnet man z. B. auf jeden Quadratzoll eines eingerammten Pfahles 550 Pfd. Belastung, welche er dann mit Sicherheit tragen kann. Soll nun ein Bau, der 300000 Centner wiegt, auf solche Pfähle gestellt werden, die 10 Zoll im Geviert messen, so wird jeder Pfahl 100 Quadratzoll Querschnitt haben, also mit 100 × 550 Pfd. oder 550 Centner belastet werden dürfen, und die ganze Last muß daher auf $^{300000}/_{550} = 555$ Pfähle vertheilt werden.

200. Ist ein Stab an einem Ende festgehalten, und am andern Ende rechtwinklich auf seine Länge belastet, so wird er gebogen, und wird bei steigender Belastung endlich zerbrechen. Die Kraft, mit welcher der Stab diesem Zerbrechen widersteht, nennt man seine relative Festigkeit.

Bei der Betrachtung der Biegung, welche dem Zerbrechen vorhergeht, sieht man, daß die Fasern im obern Theile des Stabes ausgedehnt, im untern aber zusammengedrückt sind, und daß also die relative Festigkeit eine aus der absoluten und der rückwirkenden zusammengesetzte ist. Das Zerbrechen wird dann eintreten, wenn die oberste Faser an irgend einer Stelle die größte Ausdehnung überschreitet, welche sie ertragen kann, oder wenn die unterste über diese Grenze zusammengedrückt wird.

In der Mitte ungefähr wird eine Faser liegen, welche zwar gebogen, aber nicht ausgedehnt und nicht zusammengedrückt wird.

Fig. 88.



201. Ist CEDF ein Stück eines solchen gebogenen Balkens, dessen Fasern vor der Biegung alle gleiche Längen hatten, und AB die Faser, welche nicht gezogen und nicht zusammengedrückt worden ist, so werden die Fasern dieses Stückes den vorliegenden Theil des Balkens um B zu drehen suchen, indem

ED wieder zu seiner ursprünglichen Länge EG sich zusammenziehen, und CF sich auf dieselbe Länge CH strecken will, und die Kraft, mit welcher diese Drehung um B erfolgen würde, muß mit der biegenden Kraft im Gleichgewichte seyn, wenn die Biegung des Balkens bleiben soll.

Denkt man sich einen zweiten Balken von demselben Stoffe und von derselben Breite rechtwinklich auf die Zeichnung, aber von der doppelten Höhe FD, so wird auch hier die Biegung so weit gehen können, bis die äußerste Faser von der Länge AB sich um ein Stück gleich GD ausgedehnt hat. Die Fasern dieses Balkens haben dann alle dieselbe Ausdehnung oder Zusammendrückung erlitten, wie die des ersten Balkens, alle werden also auch auf ihre Verkürzung oder Verlängerung mit derselben Kraft hinstreben, wie dieß beim ersten Balken der Fall ist, aber wegen der doppelten Höhe dieses Balkens werden doppelt so viel Kräfte thätig seyn, als beim ersten Balken. Diese Kräfte suchen das vorliegende Balkenstück um den Punct B zu drehen; da aber die gleich stark gestreckten Fasern jetzt noch einmal so weit von B wegliegen, als beim ersten Balken, so werden die gleich großen drehenden Kräfte hier immer an doppelt so großen Hebelsarmen die Drehung versuchen, als dort, also die doppelte Wirkung haben, und da man zugleich die doppelte Anzahl solcher Kräfte hat, so wird die biegende Kraft 2×2 oder die 4fache der früheren seyn müssen, wenn die Biegung erhalten werden soll.

Würde man ebenso einen dreimal höhern Balken biegen, so würde jetzt eine 3×3 oder 9mal größere Kraft erfordert werden, um wieder die äußerste Faser um das Stück GD auszudehnen. Bei einem 4mal so hohen Balken würde diese Kraft auf das 16fache steigen u. s. f., oder die relative Festigkeit eines Balkens nimmt zu, wie das Quadrat seiner Höhe, diese in der Richtung der biegenden Kraft gemessen.

202. Daß diese relative Festigkeit einfach zunimmt mit der Breite des Balkens, ist für sich klar, und daß die brechende Kraft in dem Verhältnisse kleiner wird, wie der Balken länger wird, ergibt sich aus der Betrachtung, daß der Hebelsarm, an dem das brechende

Gewicht die Drehung um den Punct B hindert, um so größer ist, je länger der Balken wird.

203. Man erkennt leicht die Wichtigkeit dieser Sätze. Einen Balken von Holz, der am einen Ende befestigt ist, der einen Fuß hoch und einen Fuß breit ist, kann man einen Fuß von dem befestigten Ende mit 18000 Pfd. mit Sicherheit belasten. Zehn Fuß von diesem Ende weg wird man also z. B. nur 1800 Pfd. ihn tragen lassen dürfen. Zerschneidet man den obigen Balken in 4 Bohlen, von denen jeder 1 Fuß hoch und $\frac{1}{4}$ Fuß breit ist, so werden diese 4 Bohlen zusammen noch dieselbe Last, einer also $\frac{1800}{4} = 450$ Pfd. tragen können. Legt man aber eines dieser Bretter der Breite nach hin, so wird dieses jetzt nur $\frac{1}{16}$ der Last tragen können, welche der Balken trug, und also 4 Bohlen nur den 4ten Theil von 1800 Pfd., oder so viel, als ein einzelnes, wenn es hochkantig gestellt wird.

Wollte man den Balken in 4 quadratische Balken von je $\frac{1}{2}$ Fuß Seite zerschneiden, so würde ein solcher Balken wegen der halben Breite nur noch $\frac{1}{2}$ der früheren Last, und wegen Abnahme der Höhe nur noch $\frac{1}{4}$ dieser, also nur $\frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{8}$ der Last tragen können, als der ganze Balken getragen hat; alle 4 zusammen also nur noch die Hälfte der Tragkraft des ganzen Balkens haben.

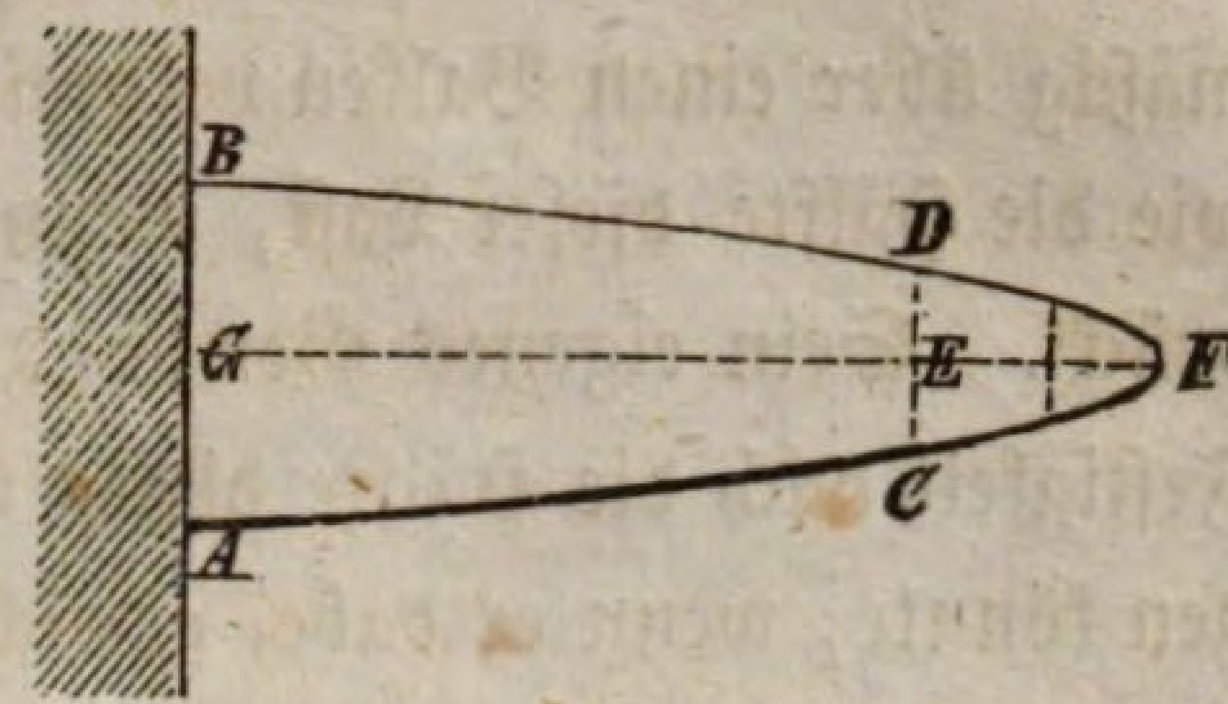
Ueberall, wo große Lasten zu tragen sind, wird man also die Höhe des Balkens möglichst groß nehmen, und die Breite nur eben so, daß ein Umbiegen zur Seite vermieden wird. Bei gußeisernen Trägern, bei denen die Formen freier gewählt werden können, als bei Holz, gibt man einen sehr hohen und schmalen Körper, welchen man vor dem Umbiegen zur Seite durch Seitenrippen schützt.

204. Aus der Betrachtung, daß das Brechen dann erfolgt, wenn die oberste Faser eine bestimmte Verlängerung erlangt hat, ergibt sich die Erklärung der bekannten Erscheinung, daß ein dünner Spahn sehr bedeutend gebogen werden kann, während ein dicker Balken nur eine geringe, kaum merkliche Biegung ertragen kann, ohne zu brechen.

205. Bei einem Balken (Fig. 89.), der seiner ganzen Länge nach gleiche Dicke und Breite hat, wird die Festigkeit für jeden Querschnitt gleich groß seyn. Für den Querschnitt AB ist aber der Hebels-

arm GF des brechenden Gewichtes am größten, also auch die Wirkung dort am größten, und dort wird der Bruch erfolgen.

Fig. 89.



Für den Querschnitt CD ist der Hebelsarm der brechenden Kraft nur noch EF, und ist also für das Brechen in CD ganz ebenso, als ob das Stück des Balkens BDCA eingemauert, und nur DCF herausstünde. Ist nun z. B. CF nur der 4te Theil von GF, so wird auch die Festigkeit in CD nur der 4te Theil von der Festigkeit im Querschnitt AB seyn müssen, und es wird also der Balken, um hier eben so gut wie in AB der brechenden Kraft am Ende des Balkens widerstehen zu können, bei gleich bleibender Höhe nur $1/4$ so breit, als bei AB seyn müssen, oder bei gleich bleibender Breite nur halb so hoch, als bei AB, weil die halbe Höhe nur den 4ten Theil der relativen Festigkeit gibt. (Nro. 201.) Im Neuntel der ganzen Länge GF wird ebenso die Höhe bei gleichbleibender Dicke nur $1/3$ von AB seyn müssen u. s. f. Die Höhe des Balkens wird auf diese Weise durch eine krumme Linie begrenzt, durch dieselbe, welche wir schon beim freien Fall der Körper haben kennen lernen, die Parabel. Man sieht solche krummlinig begrenzte Balken als Träger, als Balanciers und dergl. häufig angewendet. Die Balanciers sind zwar nicht unbeweglich am einen Ende festgehalten, aber es ist doch klar, daß die obigen Betrachtungen auch auf sie Anwendung finden, wenn man sie so betrachtet, als seyen sie in der Mitte festgehalten.

206. Oben haben wir angenommen, das Gewicht, das die Biegung verursacht, sey am Ende des Balkens angebracht, und also der Hebelsarm, an dem es wirkt, wenn der Bruch am befestigten Ende erfolgt, die ganze Länge des Balkens. Ist nun das Gewicht gleichförmig über die ganze Länge des Balkens vereint, so liegt die resultirende Kraft aus allen einzelnen drückenden Gewichten in der Mitte des Balkens, und es ist dasselbe, als sey das ganze Gewicht in der Mitte des Balkens vereint. Der Hebelsarm der brechenden Kraft ist also jetzt nur die Hälfte von der Länge des Balkens, wofür man auch die halbe

Kraft an's Ende des Balkens setzen könnte. Eine Last, welche gleichmäßig über einen Balken verbreitet ist, trägt also dieser gerade so gut, wie die Hälfte dieser Last, wenn diese an seinem freien Ende auf ihn drückt. Sein eigenes Gewicht z. B. trägt er so lange, als er seiner Festigkeit nach die Hälfte dieses Gewichtes an seinem freien Ende tragen könnte, wenn er dabei gewichtlos wäre.

207. Liegt ein Balken mit beiden Enden auf, und drückt auf ihn ein Gewicht, so wird er sich einbiegen, und bei hinreichend großem Gewichte endlich dort brechen, wo dieses Gewicht liegt. Die beiden Enden werden auf ihre Unterlage drücken, und man wird diese Unterlagen wegnehmen können, ohne an der Lage und Biegung des Balkens etwas zu ändern, wenn man sie durch Kräfte ersetzt, welche den Drückungen auf die Unterlagen gleich, aber entgegengesetzt sind. Ein Balken, welcher in seiner Mitte z. B. mit 1000 Pfd. belastet ist, und an beiden Enden aufliegt, drückt jede seiner beiden Unterlagen mit 500 Pfd., und wenn man eine dieser Unterlagen oder auch beide wegnimmt, und dafür an ihrer Stelle eine Kraft anbringt, welche das Ende des Balkens mit 500 Pfd. Kraft in die Höhe zieht, so wird der Balken nach wie vor in Ruhe bleiben. Hält man nun den Balken in der Mitte fest, so wird dadurch begreiflich diese Ruhe nicht gestört; jetzt aber wird man die Kraft 1000 Pfd. in der Mitte wegnehmen können, und es wird noch immer keine Aenderung stattfinden. Nun haben wir aber, wenn wir nur die eine Hälfte des Balkens betrachten, einen am Ende festgehaltenen Balken, welcher am freien Ende mit 500 Pfd. Gewicht aufwärts gezogen wird.

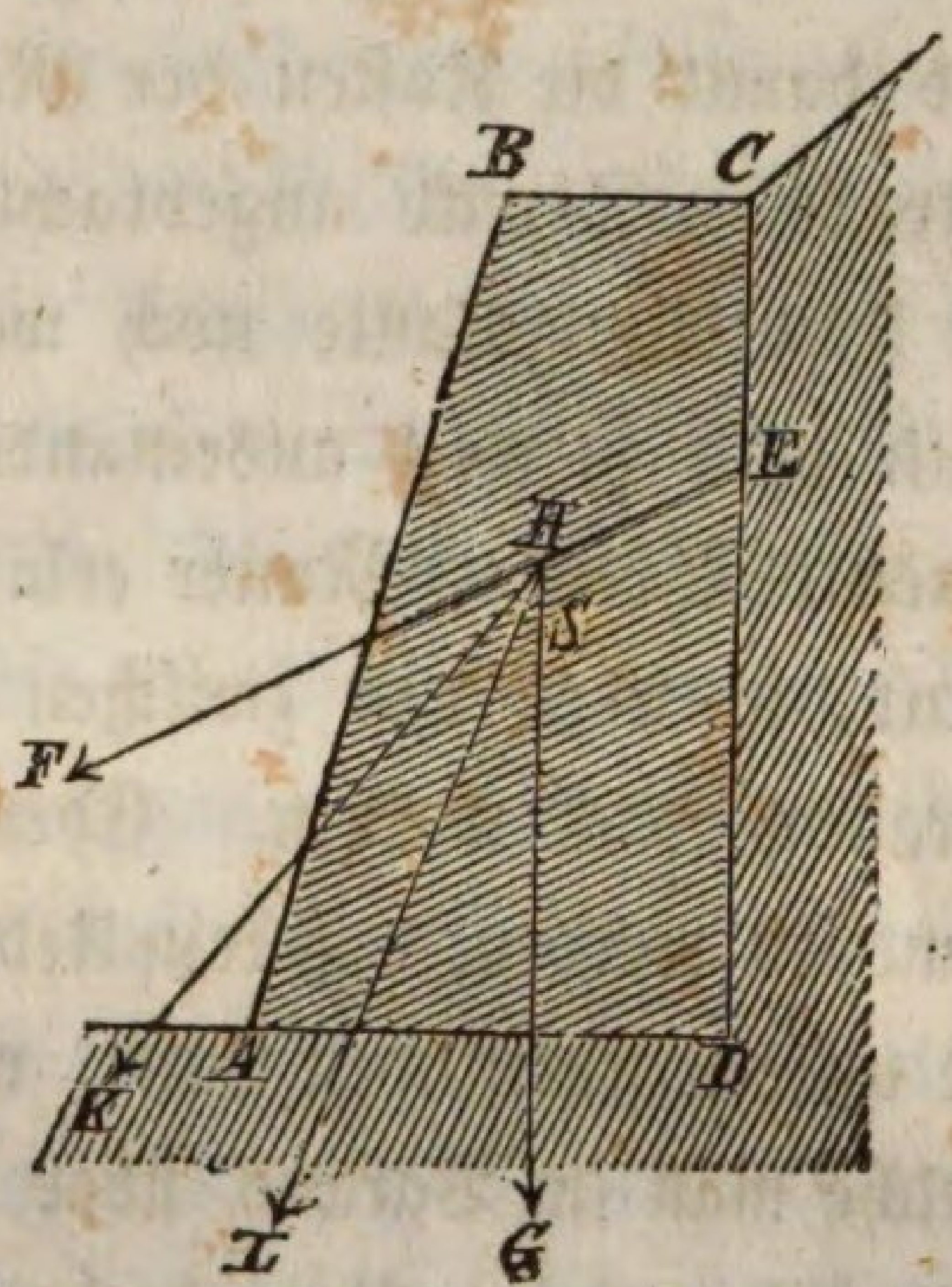
Damit also der Balken in der Mitte 1000 Pfd. tragen könne, muß er so stark seyn, wie ein halb so langer, welcher am einen Ende befestigt, am andern 500 Pfd. tragen kann, oder was dasselbe ist, wie ein gleich langer, der am einen Ende befestigt ist und am andern 250 Pfd. trägt. Liegt ein Balken mit beiden Enden auf, so kann er in der Mitte 4mal so viel Gewicht tragen, als ein gleicher Balken, welcher am einen Ende befestigt, und am andern belastet ist.

208. Bei Maschinen wird die Festigkeit der Wellbäume und Drehungsachsen noch auf eine andere Weise in Anspruch genommen.

Es wirkt nämlich an einer solchen Welle in der Regel am einen Ende die Kraft, welche eine Drehung nach einer bestimmten Seite hin hervorzubringen sucht, während an dem andern Ende die Last dieser Drehung entgegenstrebt. Dadurch erleidet die Welle eine Drehung, welche so weit gehen kann, daß sie abgedreht wird. Man nennt den Widerstand, den ein Körper diesem Abdrehen entgegensetzt, seine Torsionsfestigkeit, und bezeichnet damit natürlich keine besondere Eigenschaft der Materie, sondern nur eine besondere Wirksamkeit der Festigkeit überhaupt.

§. 2. Von der Standfähigkeit oder Stabilität.

Fig. 90.



209. Drückt auf einen Körper, z. B. eine Mauer ABCD, die daneben aufgehäufte Erde oder irgend eine andere Ursache etwa nach der Richtung EF, so wird diese Kraft die Mauer, welche wir als durchaus fest betrachten, um die Kante A umzustürzen suchen. Diesem Umstürzen wird das Gewicht der Mauer entgegenwirken. Ist S der Schwerpunct der Mauer, so wird dieses Gewicht sich zu einer durch S gehenden Kraft vereinigen lassen, SG. Die beiden Kräfte EF und SG können mit Hülfe des Kräftenparallelogramms zu einer Mittleren zusammengesetzt werden, welche dann entweder links von A wie HK, oder rechts von A wie HL geht. Im ersten Falle wird die Mauer umstürzen, im letzten aber wird sie dem Drucke widerstehen, Standfähigkeit oder Stabilität haben.

210. Bei allen Körpern, auf welche kein Druck stattfindet, wird ein Stehen stattfinden, wenn der Schwerpunct unterstützt ist, oder die Verticale vom Schwerpunct abwärts durch die Grundfläche des Körpers geht; wo aber dieß nicht der Fall ist, fallen die Körper um.

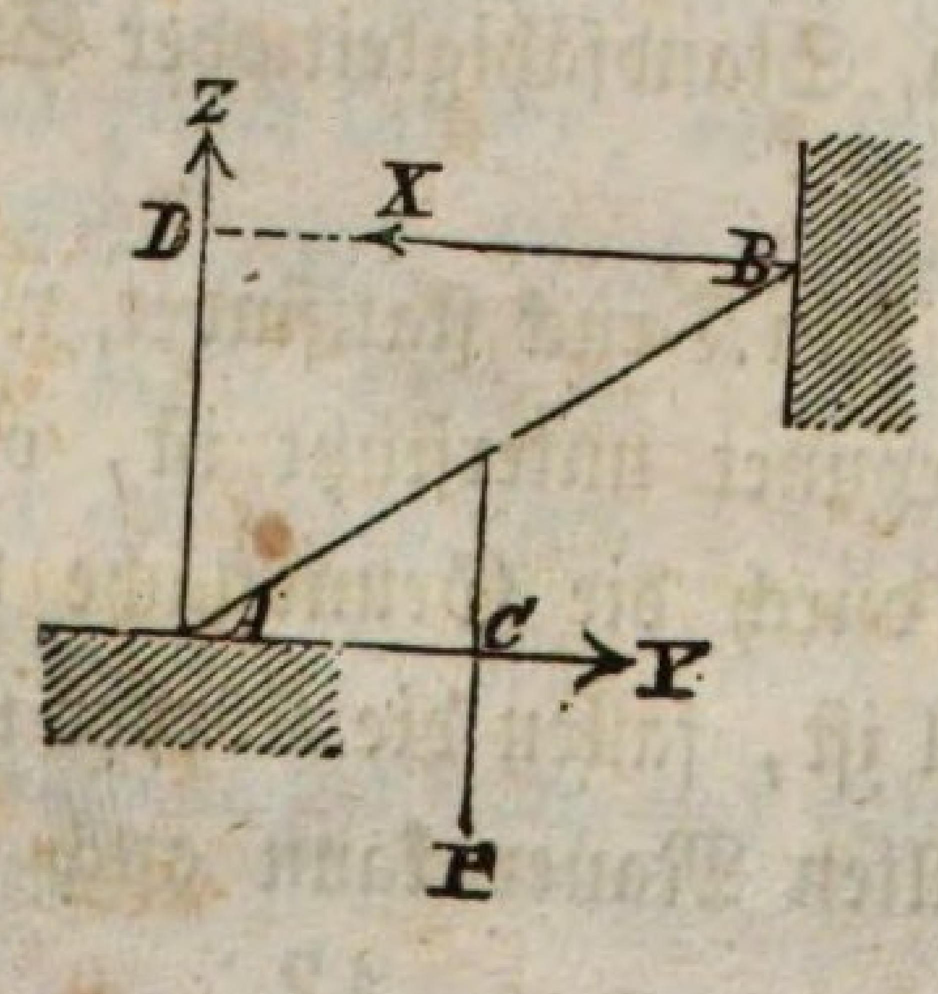
211. Bei der in Fig. 90. vorgestellten Mauer kann auch der

Druck EF eine Verschiebung der Mauer in der Richtung DA stattfinden. Dieser Verschiebung widersteht die Mauer theils durch die Festigkeit ihres Bindemittels, oder wenn dieses ganz weggedacht wird, wie man dieß bei den Berechnungen gewöhnlich thut, durch die Reibung. Bei Constructionen muß man auch hierauf Rücksicht nehmen, und die Maße so wählen, daß weder ein Umwerfen noch ein Verschieben möglich ist.

212. Das Profil, das die Mauer in Fig. 90. hat, rückt die Kante, um welche im Falle des Umstürzens dieses geschehen würde, weiter hinaus, als wenn dasselbe Gewicht in eine überall gleich dicke Mauer vertheilt wäre; die erste hat daher mehr Standfähigkeit, als diese. Man vermehrt häufig diese Standfähigkeit, ohne das Gewicht und damit die Kosten der Mauer bedeutend zu erhöhen, durch von Strecke zu Strecke angebrachte Verstärkungen, Strebepfeiler, welche die Umdrehungskante noch weiter hinauslegen. Diese Strebepfeiler kann man so weit auseinander stellen, als die Stärke der zwischen ihnen befindlichen Mauer erlaubt; sind sie zu weit von einander entfernt, so wird das zwischen ihnen liegende Mauerstück in der Mitte herausgedrückt werden. Ebenso muß die Stärke der Mauer auch so bemessen werden, daß kein Uebereinanderschieben der oberen Theile über die untern stattfinden kann, wofür man bis jetzt bei der Unsicherheit, welche man im Voraus über die Festigkeit des Mauerwerks hat, gewöhnlich aus der Praxis abgeleitete Regeln befolgt.

213. Wird ein Balken schief aufgestellt, so daß er sich oben an eine verticale Wand oder gegen einen gleichen und gleich geneigten Balken anlegt, so wird dieser Balken, wenn er sich selbst überlassen

Fig. 91.



wird, längs der verticalen Wand herabgleiten, und wenn sein Ende A etwa auf einem horizontalen Balken steht, dieses Ende A auf diesem Balken fortgeschoben werden, während zugleich dieses Ende A seine Unterlage vertical abwärts zu drücken sucht. Um den Balken AB in seiner Lage zu erhalten,

wird man also sowohl diesem Verticaldrucke, wie dem Horizontalschube bei dem Ende A begegnen müssen.

Wir wollen sehen, wie man die Größe der hierzu erforderlichen Kräfte finden kann.

Die verticale Wand, gegen welche das Ende B sich stützt, verhindert dieses Ende nicht, aufwärts oder abwärts zu gehen, es hindert aber dieses Ende, rechtwinklich auf die Mauer fortzugehen. Man wird also noch die vorherbestandene Lage des Balkens erhalten, wenn man die Mauer wegnimmt, und dafür eine Kraft horizontal einwärts von hinreichender Größe anbringt, wie X. Auch die Befestigung des untern Endes des Balkens kann man wegnehmen, wenn man zwei Kräfte, welche den Horizontalschub und den Verticaldruck aufheben, wie Y und Z, dort anbringt, was durch Schnüre, Rollen und Gewichte geschehen kann. Jetzt haben wir den Balken, ganz frei von den angebrachten Kräften getragen und in seiner Lage erhalten. Sehen wir nun, wie groß diese Kräfte seyn müssen, damit sie dem Gewichte des Körpers, das ihn zu bewegen sucht, Gleichgewicht halten.

Man kann auf verschiedenen Wegen hierzu gelangen. Damit Gleichgewicht stattfindet, darf weder der ganze Balken verschoben, noch gedreht werden. Würde der Balken nach irgend einer Richtung hin verschoben werden, so könnte man diese Bewegung immer als aus einer horizontalen und einer verticalen zusammengesetzt denken. Es dürfen also die Kräfte weder eine horizontale, noch eine verticale Bewegung hervorbringen. Die vertical wirkenden Kräfte werden aber keine Bewegung des ganzen Balkens in dieser Richtung hervorbringen, wenn Z gleich dem Gewichte des Balkens ist, woraus folgt, daß der Verticaldruck des schief stehenden Balkens auf seine Unterlage dem Gewichte des Balkens gleich ist, oder daß diese Unterlage, die einzige, die trägt, das ganze Gewicht des Balkens zu tragen hat, was in dieser Form ausgesprochen für sich klar erscheint.

Damit auch der ganze Balken nicht horizontal hin verschoben werde, werden auch die beiden Kräfte Y und X sich gegenseitig aufheben, also gleich groß seyn müssen, oder der Balken drückt die Mauer

bei B und seine Befestigung in A beide gleich stark auswärts, der **Horizontalschub in B und in A ist gleich groß.**

Sind diese beiden Bedingungen erfüllt, so wird der Balken durch die vier auf ihn wirkenden Kräfte nicht verschoben werden, aber er kann noch um seinen Schwerpunct gedreht werden. Die Bedingung, daß auch keine Drehung stattfinden soll, bestimmt noch die Größe des Horizontalschubs.

Für die Rechnung ist es ganz gleichgültig, welcher Punct als Drehpunct angenommen wird, wie in den Lehrbüchern der Statik (der Gleichgewichtslehre) näher nachgewiesen wird. Nehmen wir z. B. A als diesen Drehpunct, so werden die Kräfte X und das Gewicht des Balkens, das P heißen soll, und im Schwerpunct angebracht gedacht werden kann, Drehung um A zu bewirken suchen, aber beide nach entgegengesetzten Seiten, und keine Drehung wird erfolgen, wenn die Bestreben beider Kräfte, Drehung hervorzurufen, gleich groß sind. Das Bestreben einer Kraft, Drehung hervorzubringen, wird aber durch ihr **statisches Moment** gemessen (Nro. 47.) Sollen also beide Kräfte zusammen eine Drehung nicht hervorrufen, so müssen ihre statischen Momente gleich groß, also

$$X \times AD = P \times AC$$

seyn, woraus $X = \frac{P \times AC}{AD}$ sich ergibt.

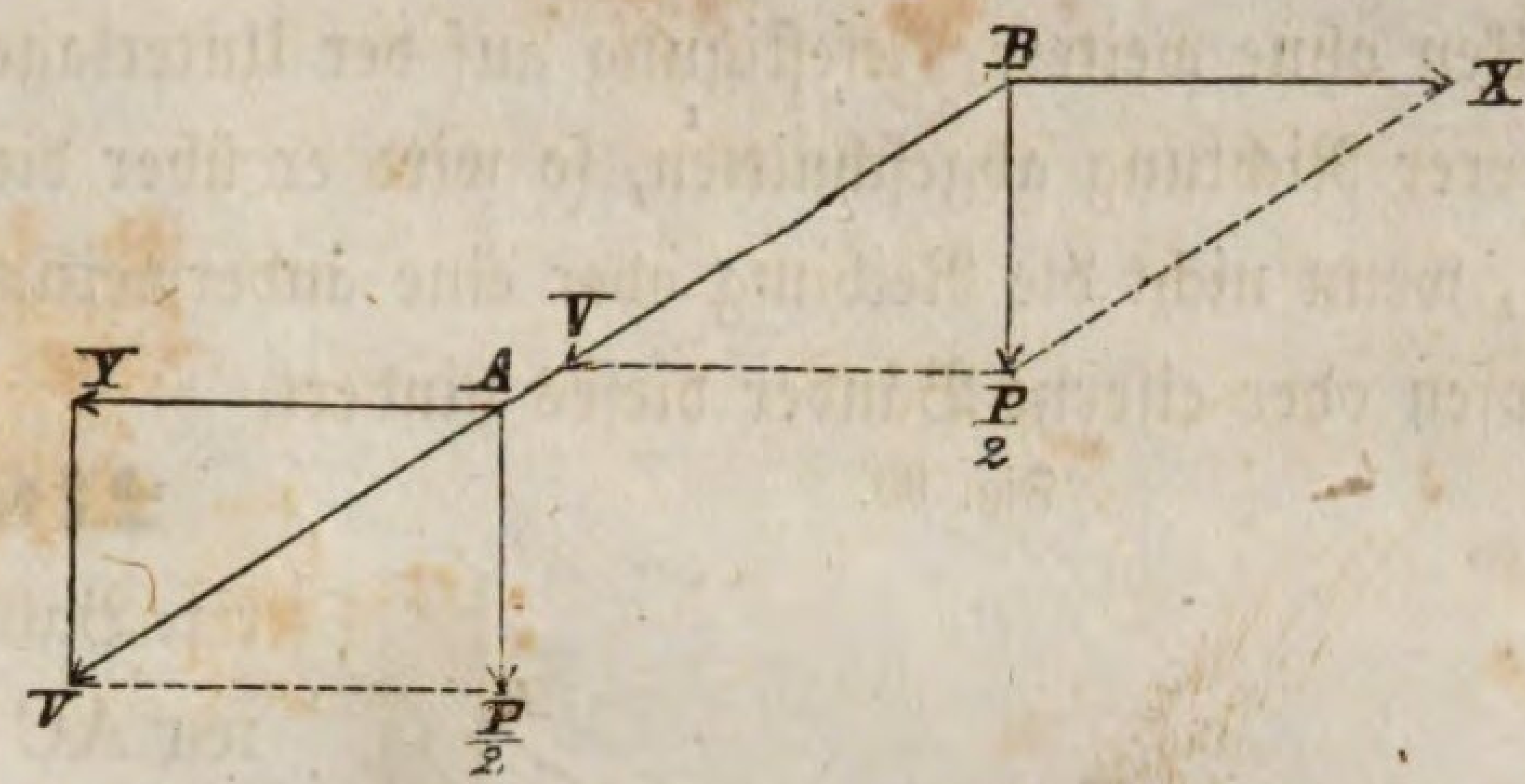
Damit ist also nunmehr auch der stattfindende Horizontalschub bestimmt. Man sieht, daß dieser, außer von dem Gewichte des Balkens, auch von der Neigung des Balkens abhängt, und um so größer ist, je flacher der Balken liegt.

214. Man kann die Aufgabe, welche wir eben aufgelöst haben, noch auf mancherlei andere Weisen behandeln, welche begreiflich zu demselben Ziele führen. Wir wollen von diesen Auflösungsarten noch eine hier ausführen, weil sie uns zu weiteren Aufschlüssen führen wird.

Das Gewicht P drückt die beiden Enden gleich stark abwärts, wir können es ersetzen durch zwei Kräfte, jede $\frac{P}{2}$, welche die beiden Enden des Balkens vertical abwärts drücken. Die Kraft $\frac{P}{2}$, welche in

B wirkt, können wir zerlegen in zwei Kräfte, von welchen die eine rechtwinklich auf die Wand, die andere nach der Länge des Balkens gerichtet ist.

Fig. 92.



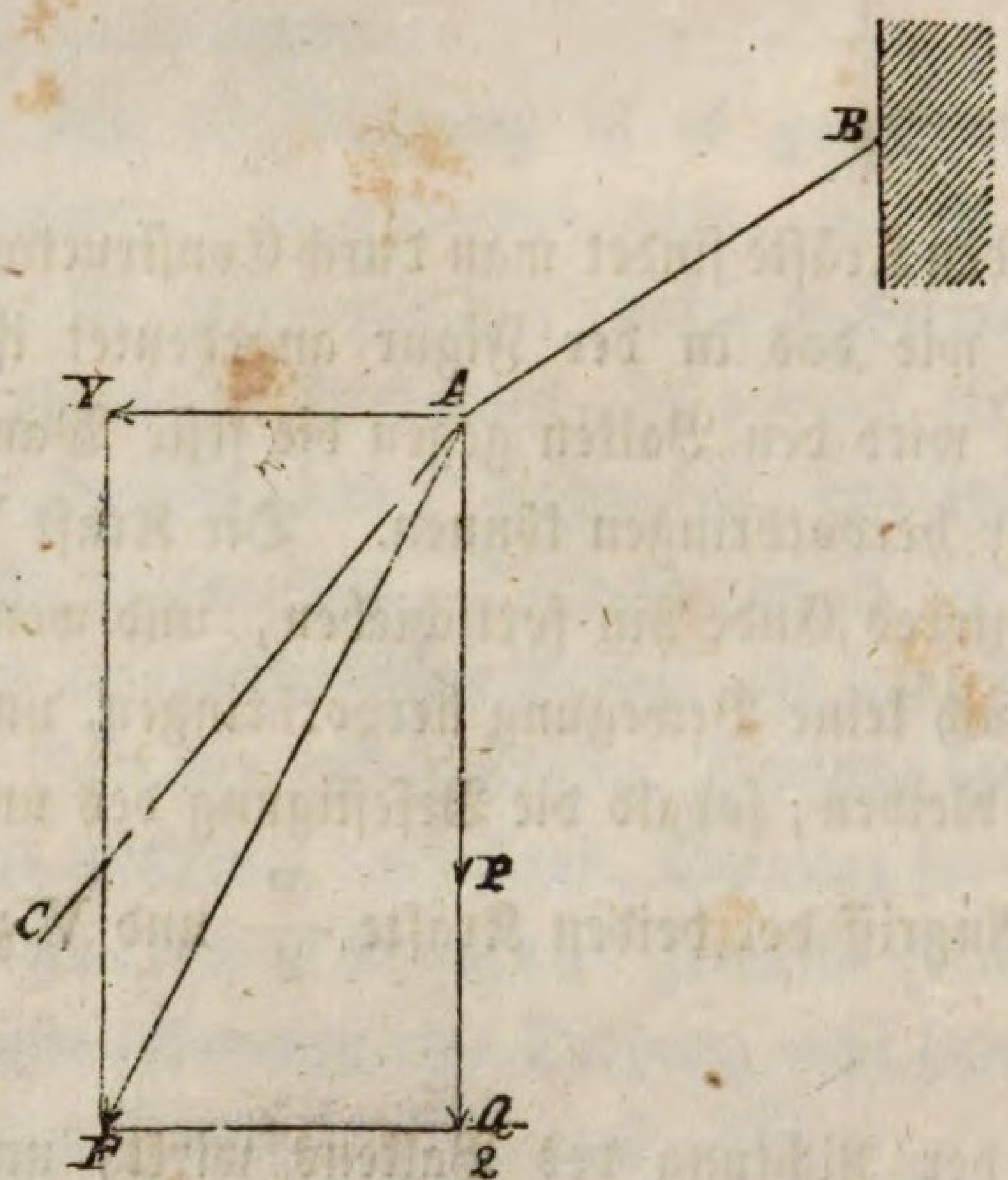
Die Größe dieser beiden Kräfte findet man durch Construction des Kräftenparallelogramms, wie das in der Figur angedeutet ist. Die horizontal wirkende Kraft wird den Balken gegen die feste Wand drücken, aber keine Bewegung hervorbringen können. Die Kraft V wird den Balken gegen sein unteres Ende hin fortschieben, und wenn dieses Ende festgehalten ist, auch keine Bewegung hervorbringen, und der Balken wird also in Ruhe bleiben, sobald die Befestigung des untern Endes des Balkens den Angriff der beiden Kräfte $\frac{P}{2}$ und V zu ertragen vermag.

Die Kraft V, welche in der Richtung des Balkens wirkt, und durch den Widerstand der Unterlage vernichtet werden muß, kann man in A wieder in zwei Seitenkräfte, eine verticale und eine horizontale, zerlegen, wenn man den Druck auf die Unterlage als aus einem Verticaldruck und einem Horizontalschub bestehend betrachten will. Diese Zerlegung nach dem Kräftenparallelogramm zeigt die Figur, aus der man zugleich sieht, daß der aus V hervorgehende Verticaldruck wieder $\frac{P}{2}$, und der Horizontalschub Y gleich dem Horizontalschub X ist. Der sich hier ergebende Verticaldruck $\frac{P}{2}$, und die gleich anfänglich nach A gelegte Seitenkraft $\frac{P}{2}$ geben zusammen den ganzen Verticaldruck P, dem Gewichte des Balkens gleich. Diese Resultate sind dieselben, wie die oben gefundenen.

215. Setzt man den Horizontalschub Y und den Verticaldruck P zusammen, so erhält man die Richtung, nach welcher der Balken auf seine Unterlage drückt. Wird der Balken rechtwinklich auf diese Rich-

tung abgeschnitten, und die Unterlage ebenso abgeschrägt, so wird der Balken ohne weitere Befestigung auf der Unterlage stehen; ist er nach anderer Richtung abgeschnitten, so wird er über die Unterlage hingleiten, wenn nicht die Reibung oder eine anderweitige Befestigung durch Zapfen oder eiserne Bänder dieses hindert.

Fig. 93.



216. Wird der betrachtete Balken durch einen zweiten AC getragen, so pflanzt sich der Horizontalschub Y und der Verticaldruck P auf diesen zweiten fort. Zerlegt man dann das Gewicht des Balkens AC, das Q heißen mag, wie vorhin, in zwei Seitenkräfte, $\frac{Q}{2}$ am obern und $\frac{Q}{2}$ am untern Ende, so hat man nun am obern Ende des Balkens die beiden Kräfte Y horizontal und $P + \frac{Q}{2}$ vertical. Setzt man diese beiden Kräfte zu einer mittlern zusammen, so ergibt sich, ob die Stellung des Balkens AC von der Art ist, daß er von dem obern Balken und seinem eigenen Gewichte um sein unteres Ende gedreht wird, oder nicht. Sowie dieß die Zeichnung gibt, würde eine Drehung abwärts erfolgen; fällt aber die mittlere Kraft F in ihrer Richtung mit AC zusammen, so wird dieser Balken AC durch den obern Balken und sein eigenes Gewicht nicht gedreht werden, und die Verbindung wird stehen, wenn nur das Ende C festgehalten wird.

Dasselbe wird aber auch noch der Fall seyn, wenn die Kraft F nicht gerade die Richtung der Mittellinie des Balkens AC hat, wenn die Richtung von F nur noch die Grundfläche des Balkens C trifft. Ist dieß der Fall, so hat man am untern Ende des Balkens die Kräfte F und $\frac{Q}{2}$. Zerlegt man die erste in Horizontalschub und Vertical-

druck, aus welchen sie am Ende A entstanden ist, so wird der erste wieder Y und der zweit $P + \frac{Q}{2}$, was mit der ursprünglichen nach C zerlegten Kraft $\frac{Q}{2}$ das ganze Gewicht beider über C stehender Balken ausmacht.

Setzt man die in C wirkenden Kräfte zu einer einzigen Mittleren zusammen, so muß der Balken rechtwinklich auf die Richtung dieser Mittleren abgeschnitten werden, wenn er ohne weitere Befestigung und ohne Mithülfe der Reibung in seiner Lage beharren soll.

217. Hat man nun eine beliebige Zahl solcher Balkenstücke übereinander gestellt, so kann man nach dem Vorhergehenden von Balken zu Balken die Schublinie construiren; werden die Balken kürzer und durch Steine ersetzt, so nennt man eine solche Verbindung ein Gewölbe, und für dieses wird also in gleicher Weise jene Schublinie construirt werden können, und es wird in dem Gewölbe keine Drehung irgend eines Steines erfolgen, so lange diese Schublinie innerhalb der Steine des Gewölbes bleibt; dagegen wird eine solche Drehung erfolgen, und das Gewölbe wird sich nicht tragen, sobald die Schublinie aus dem Gewölbe heraustritt.

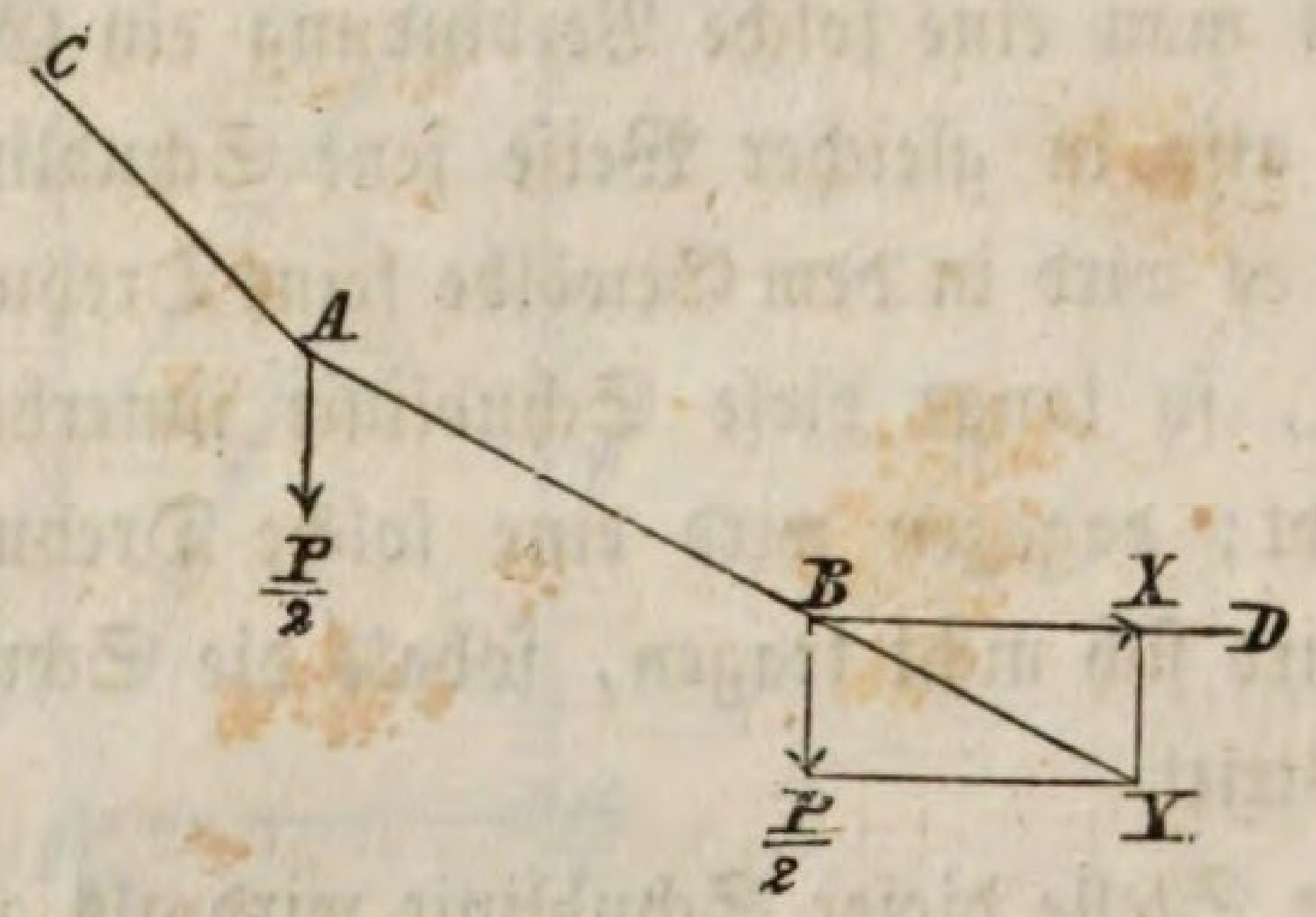
Der Druck in irgend einer Stelle dieser Schublinie wird als aus einem Horizontaldrucke und einem Verticaldrucke zusammengesetzt betrachtet werden können; der erste wird in allen Puncten gleich und gleich dem Drucke im Scheitel des Gewölbes seyn, der Verticaldruck wird in jedem Puncte der Schublinie gleich dem Gewichte des zwischen diesem Puncte und dem Scheitel liegenden Gewölbstückes seyn. Die Gewölbsteine müssen dem Drucke durch ihre rückwirkende Festigkeit widerstehen. Sind die Gewölbsteine rechtwinklich auf die Schublinie gefugt, so kann nur Drehung der Steine, aber keine Verschiebung erfolgen. Stehen aber die Fugen nicht rechtwinklich auf der Schublinie, so muß die Reibung und der Zusammenhalt durch den Mörtel zu Hülfe kommen, um das Hinausschieben eines Gewölbsteines und damit das Zusammenfallen des Gewölbes zu hindern. Dort, wo die Cohäsion des Mörtels groß genug ist, wird daher die Lage der Fugen gleichgültig seyn; wo aber dieß nicht der Fall ist, wie bei allen Gewölben,

deren Lehrbogen herausgenommen werden, ehe der Mörtel völlig erhärtet ist, darf die Richtung der Fugen sich nicht zu weit von der senkrechten auf der Schublinie entfernen.

Die Rechnungen, welche sich aus diesen Betrachtungen über die Stärke der Gewölbe ergeben, sind sehr weitläufig, man hat deßhalb Tafeln für den Gebrauch entworfen, welche jene Rechnungen sehr abkürzen. Solche Tafeln findet man z. B. in dem schon mehr angeführten Hülfsbuche des praktischen Mechanikers von Morin.

218. Betrachten wir jetzt eine Kette, welche aus längeren Eisenstangen von beliebigem Gewichte zusammengesetzt seyn mag. Es sey AB die unterste geneigte dieser Stangen. Sie wird in ihrer Lage festgehalten durch den Zug des Stückes AC in dieser Richtung, durch den Zug des Stückes BD, und endlich durch sein eigenes Gewicht P. Diese drei Kräfte müssen, wenn die Kette eine ruhige Lage angenommen hat, im Gleichgewichte seyn.

Fig. 94.



Der Einfachheit wegen will ich annehmen, es sey das unterste Kettenglied BD horizontal, so wird man dieses wegnehmen können, wenn man nur sein halbes Gewicht in B abwärts drücken läßt, und zugleich einen horizontalen Zug in B anbringt, welcher dem früheren Zuge des Stückes BD entspricht.

Das Gewicht des Stabes AB läßt sich zu gleichen Theilen auf die beiden Enden A und B vertheilen, so daß wir jetzt in B eine abwärts drückende Kraft haben, welche aus dem halben Gewichte von BD in dem halben Gewichte von AB besteht. Diese Kraft läßt sich mit dem Zug nach BD, welcher X heißen mag, durch das Kräftenparallelogramm zusammensetzen, wodurch die mittlere Kraft Y als die jetzt allein auf das untere Ende des nun als gewichtlos zu betrachtenden Kettenstückes AB wirkende Kraft sich ergibt. Dieses AB kann offenbar nur dann in seiner Lage bleiben, wenn die oberhalb A befind-

liche Kette dem Zuge der Kraft Y widersteht, und wenn zugleich AB die Richtung der Kraft Y selbst hat, widrigenfalls sich AB um den festgehaltenen Punct A in dieser Richtung drehen würde.

Sobald AB in der Richtung der Kraft Y liegt, wird der Zug dieser Kraft ungeändert auf den Punct A übertragen. Im Puncte A wirken nun die Kräfte Y, das halbe Gewicht von AB und noch das halbe Gewicht des Kettengliedes AC. Zerlegt man hier Y wieder in eine horizontale und in eine verticale Kraft, so werden diese wieder genau ebenso ausfallen, wie die horizontalen und verticalen Kräfte, aus denen Y in dem Puncte B zusammengesetzt wurde, woraus folgt, daß der Punct A mit derselben Kraft horizontal hereingezogen wird, wie der Punct B, und daß der ganze verticale Druck, welchen der Punct B zu tragen hat, dem Gewichte der bis zum Mittelpuncte des Stückes BD gehenden Kette unterhalb B gleich ist, wozu noch die Hälfte des Gewichtes von AC kommt. Setzt man diese verticalen und horizontalen Kräfte zusammen, so erhält man eine einzige Kraft, welche der Zug der Kette ABD auf das Glied AC ist, und in deren Richtung sich das Kettenglied AC stellt.

Man sieht leicht ein, wie man auf diese Weise die Richtung jedes folgenden Kettengliedes construiren und damit die **Kettenlinie** zeichnen kann. Die Kettenlinie wird begreiflich sehr verschieden ausfallen, je nachdem die Gewichte der einzelnen Kettenstücke anders gewählt werden.

219. Vergleicht man das hier Gesagte mit Dem, was wir in Nro. 217. über die Schublinie der Gewölbe gefunden haben, so sieht man, daß hier die Construction ganz dieselbe ist, nur daß sie bei den Ketten von dem untersten Puncte nach oben steigt, während sie bei den Gewölben vom Scheitel abwärts geht. Es muß also die Schublinie eines Gewölbes dieselbe Linie seyn, welche eine frei hängende Kette annimmt, wenn die Gewichte der einzelnen Kettenglieder dieselben sind, welche dort die entsprechenden gleich langen Gewölbsteine, die etwa darauf lastenden Gewichte eingeschlossen, haben. Dieß gibt ein empirisches Mittel, die Standfähigkeit eines projectirten Gewölbes nebst der Größe des Horizontalschubs zu ermitteln. Man nimmt näm-

lich eine Kette, deren einzelne Glieder man so belastet, daß diese Gewichte den Gewichten der entsprechenden Gewölbsteine gleich sind (im verjüngten Maße), und hängt diese Kette an beiden Enden auf. Kann man nun diese beiden Enden so weit auseinanderrücken, daß die ganze Kettenlinie innerhalb der Gewölbsteine (auf einer in entsprechendem Maßstabe gefertigten Zeichnung des Gewölbes) bleibt, so gibt das die Gewißheit, daß das Gewölbe nicht durch Drehung irgend eines Gewölbtheiles brechen wird. Diese Drehung wird am meisten zu befürchten seyn dort, wo die Kettenlinie sehr nahe an die äußere oder an die innere Gewölblinie tritt.

Durch Gleiten kann das Gewölbe nicht brechen, wenn die Fugenschnitte rechtwinklich auf dieser Kettenlinie stehen, und man wird das Gleiten um so weniger zu befürchten haben, je mehr die Fugenschnitte sich diesen Richtungen nähern.

Die Kraft, mit der man jedes der beiden Enden der Kette horizontal auswärts halten muß, und die man durch Gewichte bestimmen kann, ist der in allen Querschnitten gleiche Horizontalschub des Gewölbes, der sucht, die Widerlagen umzuwerfen oder fortzuschieben, und welchem das Gewölbe in seinem Scheitel noch hinreichende rückwirkende Festigkeit entgegensetzen muß.

220. Man hat in neuerer Zeit angefangen, Ketten und Drathseile zur Ueberbrückung von Flüssen und Seearmen anzuwenden. Bei diesen Ketten- oder Drathbrücken wendet man häufig die Construction an, welche man bei der Hammersmith-Brücke über die Themse gewählt hat, und welche man jetzt z. B. bei einer Brücke über die Seine in Paris und der Mannheimer Neckarbrücke gebraucht sieht. Die Kette liegt auf zwei Pfeilern, und ihre Enden sind an zwei Landfesten verankert, wie man aus Fig. 95. sieht. Von den Enden der Kettenglieder gehen eiserne Stangen herab, welche die Tragbalken der Brücke und damit die Brückenbahn selbst tragen. Durch die Belastung der Brücke, durch das eigene Gewicht derselben, und endlich durch das Gewicht der Tragstangen und der Kette selbst, entsteht in der Kette eine von Glied zu Glied veränderliche Spannung, deren Größe man nach dem in Nro. 218. gelehrten Verfahren bestimmen kann. Dieser Span-

nung muß für die größtmögliche Belastung der Brücke die Kette durch ihre absolute Festigkeit widerstehen können. Diese Spannung wird von der Kette auf die Widerlager übertragen, welche dick und schwer genug seyn müssen, um durch diesen Druck nicht zerstört oder umgeworfen zu werden.

Ketten- und Drathbrücken hat man von sehr großer Spannweite angelegt; so beträgt die Spannweite, welche die England mit der Insel Anglesea verbindende Menai-Brücke mit nur nur einem Bogen hat, 579 Fuß; bei der Mannheimer Kettenbrücke stehen die beiden Pfeiler von Mitte zu Mitte 300 Fuß auseinander; die ganze Brücke ist 600 Fuß lang.

Diese Brücken haben neben ihren vielen Vorzügen den Nachtheil, daß darübergehende Lasten ein schwaches Einsinken der Ketten und damit der Bahn hervorrufen, weßhalb sie für Eisenbahnen nicht angewendet werden.
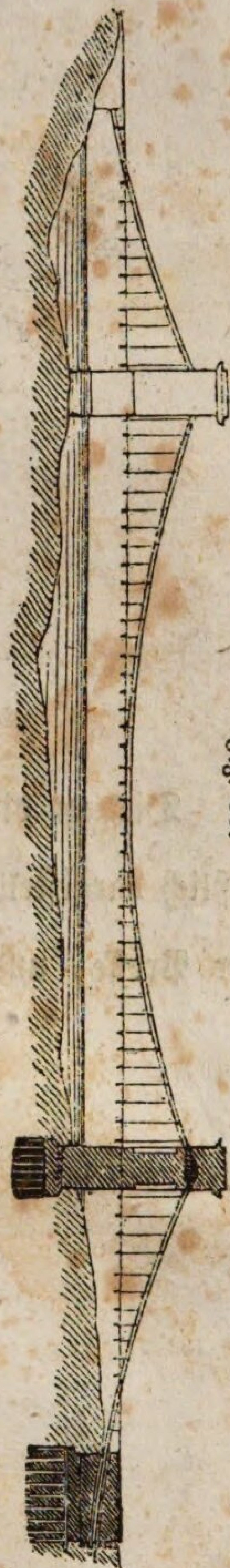


Fig. 95.

Zur Nachricht:

Die an diesen Band sich anreihende „Technologie, volksfaßlich dargestellt vom Prof. Dr. Herm. Reuff", befindet sich unter der Presse, und wird Ende dieses Jahres erscheinen.

Holtzmann, Karl Heinrich Alexander,

Grundzüge der Mechanik und Maschinenlehre für Lehrer und Lernende, für Schule und Haus ; mit 95 Abbildungen in Holzschnitt

Stuttgart 1850